

Physique corpusculaire

M. Marcel FROISSART, professeur

Le cours n'a pas eu lieu

1. Les grandes lignes d'activité du Laboratoire

Le présent rapport est le premier à couvrir une année pleine de fonctionnement de la nouvelle Unité Mixte de Recherche Collège de France-IN2P3 7553 « Physique Corpusculaire et Cosmologie », dépendant de la chaire de Physique Corpusculaire.

Les trois thèmes de physique retenus par le Laboratoire ont connu un fort développement, auquel les services techniques ont su faire face, malgré des effectifs insuffisants.

1.1. La physique des cosmiques

Le projet Auger, collaboration internationale qui vise la détection de rayons cosmiques d'énergies supérieures au million de TeV (EeV), vient d'être définitivement approuvé par le CNRS, et doté d'un financement.

Le Laboratoire a une position reconnue dans l'acquisition et le transfert de données d'expérience. Le groupe du Laboratoire devra, dans un prochain avenir, se renforcer pour participer pleinement à l'analyse physique des données.

L'étude des grandes gerbes de gammas s'est poursuivie sur le site de Thémis auprès des deux expériences imbriquées, CAT et CELESTE.

Une participation de la collaboration au projet international HESS qui se situera en Namibie a été approuvée par les Conseils scientifiques du Laboratoire et de l'IN2P3. Ce groupe, qui a reçu un renfort par le recrutement d'Arache Djannati-Ataï, deux ans après celui de Michael Punch, est amené à jouer un rôle important dans la partie française de HESS et/ou de GLAST.

1.2. La physique des neutrinos

L'expérience de recherche des oscillations de neutrinos à 1 km de la centrale de Chooz a vu la fin de la prise de données, et son démantèlement est en cours.

Les résultats importants obtenus ont permis d'éliminer l'une des possibilités d'explication de la disparition partielle des neutrinos dans les grandes gerbes cosmiques atmosphériques.

Le groupe du Laboratoire qui a conduit cette activité s'intéresse en ce moment à une activité de Recherche et Développement en vue du futur projet BOREXINO d'étude des neutrinos solaires.

L'autre activité du Laboratoire sur la physique des neutrinos est la poursuite de la Recherche et Développement sur le projet HELLAZ, expérience de 3^e génération destinée à mesurer avec précision la distribution d'énergie des neutrinos solaires, connaissant leur direction d'origine.

Des résultats significatifs ont été obtenus dans la détection d'électrons de très basse énergie dans un gaz dense, à l'aide du détecteur à grande résolution MICROMEGAS développé au CEA.

1.3. La cosmologie observationnelle

Les développements les plus récents portent sur le projet ARCHEOPS, où l'instrument de mesure des anisotropies du fond cosmologique diffus sera transporté par ballon stratosphérique, afin d'éviter l'écran que représente l'atmosphère. Le premier vol est prévu en juin 1999.

Le projet PLANCK, embarqué sur satellite, continue à se préparer à la calibration des détecteurs bolométriques, tandis qu'une partie du groupe prépare activement la modélisation et l'analyse future des données.

L'expérience AGAPE sur la recherche de microlentilles en direction de la galaxie d'Andromède va se poursuivre en collaboration avec un laboratoire de Naples.

La recherche de supernovæ de type Ia s'est poursuivie auprès de l'expérience EROS et a donné lieu à la thèse de *J.-C. Hamilton*.

2. Cosmologie Observationnelle

Les sujets de recherche du groupe de Cosmologie Observationnelle sont axés sur la description macroscopique de l'Univers, la détection de la matière baryonique, et la mesure des anisotropies fond diffus cosmologique. L'année 1998-1999 a été marquée :

— par la poursuite du programme de la collaboration AGAPE de recherche d'effet de microlentille gravitationnelle sur des étoiles non-résolues de la galaxie d'Andromède ;

— par la poursuite de nos activités de recherches de supernovæ de type Ia, notamment par la poursuite de notre effort pour la mise en place d'un télescope de 55 cm au Pic du Midi et une participation au programme EROS II ;

— par une montée en puissance de nos activités dans la physique des anisotropies du rayonnement à 3K (voir sect 2.2) à travers notre implication dans le programme PLANCK approuvé par l'ESA (modélisation, analyse de données et mise en place du banc d'étalonnage global de l'instrument HFI en collaboration avec l'Institut d'Astrophysique Spatiale d'Orsay) et la préparation du vol technique d'ARCHEOPS à Trapani en juillet 1999.

2.1. Recherche de matière noire baryonique

L'identification de la matière noire des halos des galaxies reste un des problèmes cosmologiques majeurs : même si la quantité de matière noire dans ces halos est assez bien déterminée, sa nature est encore incertaine.

2.1.1. Effet de microlentille

L'une des hypothèses possibles est que cette matière noire soit de la matière ordinaire, dite baryonique, qui doit être alors organisée de façon non dissipative pour ne pas s'effondrer dans le disque galactique. Un mode d'organisation possible serait qu'elle se présente sous forme d'objets compacts sombres ou MACHOS.

Pour détecter de tels objets, il est possible d'utiliser l'effet de lentille gravitationnelle qu'ils produisent lorsqu'ils passent devant des étoiles d'arrière-plan. L'image de l'étoile est trop petite pour qu'on puisse en voir la déformation (c'est pour cette raison qu'on les appelle « microlentilles »), mais on peut détecter l'amplification du flux lumineux. Cependant de tels effets sont très rares et il faut surveiller des millions d'étoiles pour avoir une chance d'en observer en un temps raisonnable. Un groupe français (EROS) et un groupe américano-australien (MACHO) ont recherché et trouvé de tels effets en direction des Nuages de Magellan. Cependant, la nature des lentilles et leur appartenance au halo de la galaxie ne sont pas encore bien comprises.

2.1.2. La méthode des pixels

Il nous a semblé naturel d'effectuer le même type de recherche en direction de la grande galaxie d'Andromède (M31), qui contient un très grand nombre d'étoiles. Mais la plupart de ces étoiles ne sont pas résolues depuis le sol, c'est pourquoi notre groupe a imaginé et mis en œuvre au sein de la collaboration Agape une méthode qui permet de détecter des variations de luminosité d'objets non résolus dans des galaxies éloignées.

Cette méthode a d'abord été mise en œuvre au Pic du Midi, sur le télescope de 2 m Bernard Lyot de 1994 à 1998. L'analyse des données prises au Pic du

Midi se termine et fait l'objet de la thèse de Y. Le Du. Nous avons détecté 19 événements compatibles avec des effets de microlentille. L'un de ces événements extrêmement court (largeur à mi-hauteur en temps de 5,3 jours), ne peut pas être interprété comme une variable de type connu en particulier en raison de sa couleur trop bleue ($B-V \sim 0.8$) ni comme une nova. Son interprétation la plus vraisemblable est un effet de microlentille et il a fait l'objet d'une publication séparée.

Nous avons maintenant montré que la méthode des pixels remplit ses promesses et des équipes internationales se joignent à nous pour l'exploiter sur des instruments à plus grand champ, nécessaires pour obtenir la statistique indispensable.

Notre projet principal dans les prochaines années est centré sur un télescope de 1,5 m qui va être mis en service sur le mont « Toppo di Castel Grande », près de Potenza en Italie et sera en grande partie dédié à la recherche de microlentilles. Dans le cadre de la collaboration « SLOTT-AGAPE » avec des équipes de l'Observatoire de Capo di Monte à Naples, des universités de Salerne et de Zurich, nous mettons en place d'un programme systématique de recherche de microlentilles en direction de M31 sur plusieurs années. Ainsi nous disposerons de la base de temps nécessaire à une discrimination efficace des étoiles variables. Le télescope devrait voir sa première lumière cet automne et le programme scientifique pourra débuter lors de la saison de visibilité de M31, en août 2000.

Entre temps, nous faisons en sorte de réaliser quand même des observations.

Pendant les automnes 1997 et surtout 1998, en collaboration avec des chercheurs des universités Columbia à New-York et Ohio-State à Columbus, nous avons pris des données de données pendant 91 nuits sur le télescope de 1,3 m « Michigan-Dartmouth-MIT » à Kitt Peak (Arizona). Nous disposons maintenant d'une base de données considérable que nous sommes en train d'analyser. Les équipes américaines analysent les mêmes données indépendamment selon une méthode différente.

Par ailleurs, en collaboration avec des chercheurs de Cambridge, Oxford et La Palma, nous avons demandé et, et nous obtiendrons probablement, un grand nombre de nuits avec la caméra à grand champ WFC sur le télescope de 2,5 m Isaac Newton, à La Palma aux îles Canaries. Cette demande est coordonnée avec une demande de l'équipe américano-néerlandaise MEGA, avec laquelle nous mettrons les données en commun, même si deux analyses complètement indépendantes sont prévues.

Enfin, en collaboration avec des chercheurs d'Oxford et de Saclay, nous avons présenté une demande d'observation de longue durée sur la nouvelle caméra 12 k x 8 k du télescope de 3,6 m « Canada-France-Hawaï » (CFHT). Cette demande a été très bien reçue, malheureusement le mode « service », nécessaire pour des observations d'une heure chaque nuit, ne pouvant finalement être mis en place à l'automne 1999, nous n'avons pu être programmés cette année. Cette demande sera renouvelée. Elle est un premier pas en direction de l'utilisation de la future

caméra MEGACAM, couvrant 1 degré carré, qui devrait équiper le CFHT en 2001 et sera l'instrument idéal pour la recherche de microlentilles gravitationnelles en direction de M31 ou d'objets plus lointains.

2.2. Recherche de supernovæ de type Ia

Les supernovæ, phase terminale de la vie de plusieurs types d'étoiles, jouent un rôle essentiel en astrophysique : elles permettent bien sûr de mieux comprendre l'évolution stellaire, mais aussi l'évolution galactique car elles enrichissent le milieu interstellaire en éléments lourds, ce qui modifie l'évolution des générations successives d'étoiles, et leurs ondes de choc provoquent par compression du gaz galactique la naissance de nouvelles étoiles.

Leur impact est également considérable en cosmologie, essentiellement parce que ce sont des objets dont la luminosité est à la fois très importante et très uniforme d'une supernova à l'autre (en particulier pour les supernovæ de type Ia). Elles constituent donc d'excellents marqueurs de distance permettant de mesurer la géométrie à grande échelle de l'univers.

Les recherches intensives de supernovæ lointaines menées depuis quelques années ont ainsi permis d'annoncer à la fin de l'année 1998 une valeur non nulle de la constante cosmologique.

Ce résultat repose sur un étalonnage de la luminosité des supernovæ proches effectué sur un échantillon réduit de supernovæ. La nécessité d'élargir sensiblement cet échantillon était à l'origine du programme de recherche de supernovæ lancé en 1996 par la collaboration EROS, et du programme élaboré pour le télescope de 55 cm (T55) de l'Observatoire du Pic du Midi.

2.2.1. EROS

La collaboration EROS a découvert 62 candidats supernova en deux ans de recherche, soit une moyenne d'une supernova pour trois heures d'observation. Ces observations se sont déroulées en plusieurs phases : après une première campagne exploratoire au printemps 1997 (3 supernovæ découvertes, plus une redécouverte indépendamment), deux campagnes majeures à l'automne 1997 et au printemps 1998 ont permis de découvrir 25 supernovæ, et également de préciser les limitations des procédures suivies.

La difficulté majeure se révèle être le suivi photométrique et spectroscopique des supernovæ découvertes. 11 supernovæ seulement sur 28 ont pu bénéficier d'une spectrographie permettant d'identifier leur type. De plus, le suivi photométrique n'a pu être que très rarement assuré par un télescope opérant dans les bandes photométriques standard UBVRI, et l'essentiel des données photométriques provient des mesures effectuées par le télescope d'EROS qui a des bandes passantes non-standard et très larges. Un important travail a donc été indispensable pour interpréter ces données et les retranscrire dans les bandes standard. Ce travail

constitue le pivot de la thèse de *J.-C. Hamilton*, « Recherche automatisée de supernovæ à des distances intermédiaires et analyse photométrique de leurs courbes de lumière », soutenue au Laboratoire le 14 avril 1999.

La difficulté d'assurer un suivi convenable des supernovæ découvertes a conduit à l'organisation en février-mars 1999 d'une vaste recherche associant EROS, l'équipe américaine de recherche de supernovæ lointaines du Supernova Cosmology Project (coordinateur), les groupes de recherche de supernovæ MOSAIC/CTIO et El Roble, et les équipes de recherche d'astéroïdes NEAR, QUEST et SPACEWATCH. L'objectif était de mettre en commun les moyens de suivi afin d'optimiser le suivi spectroscopique et photométrique des meilleurs candidats découverts par l'une ou l'autre équipe (l'optimum étant une supernova de type Ia découverte le plus tôt possible après son explosion). 35 supernovæ intéressantes ont été découvertes au cours de cette campagne, dont 18 découvertes par EROS. Il est encore trop tôt pour tirer un bilan complet de cette campagne, mais les premiers résultats sont suffisamment riches pour que le projet soit reconduit pour l'an prochain.

2.2.2. T55

L'ambitieux programme de recherche automatique de supernovæ proches avec le télescope de 55 cm de l'Observatoire du Pic du Midi a été considérablement retardé par les travaux de reconstruction de l'Observatoire (projet Pic2000) qui ont pratiquement interdit tout travail sérieux sur le télescope pendant 18 mois. Le travail qui a pu, malgré tout, être effectué est décrit ci-dessous. Cette situation devient critique car la concurrence internationale, quasiment inexistante lors du lancement du programme en 1995, est aujourd'hui intense : par exemple, le télescope automatique Katzmann de l'Observatoire de Lick (A. Filippenko) ou celui de Tenagra (M. Schwartz) sont opérationnels depuis 1998 et découvrent chacun une supernova ou deux chaque mois.

Rappelons que le programme T55 a pour objectif la découverte de 4 ou 5 supernovæ proches chaque mois en visant de préférence, mais pas exclusivement, des amas de galaxies. Le suivi photométrique sera assuré par le T55 lui-même et par le télescope de 1 m de l'Observatoire du Pic du Midi, tandis que le suivi spectroscopique sera assuré par le Télescope Bernard Lyot de 2 m (pour lequel des demandes de temps sont déposées). L'amélioration des performances des caméras CCD permet d'ailleurs d'envisager la possibilité d'enregistrer les spectres des supernovæ les plus brillantes avec le T55. Une caractéristique du programme T55 est d'être largement ouvert aux astronomes amateurs tant pour la conception du télescope (électronique et informatique) que pour les observations.

L'adaptation du télescope a porté cette année sur trois points principaux :

— la construction et la mise en œuvre d'un nouveau système d'entraînement en ascension droite, pour corriger les oscillations constatées.

— la mise en place d'une raquette de réglage manuel permettant une mise en station visuelle déportée de la commande informatique.

— la fin de l'écriture des programmes de contrôle et d'enregistrement/stockage des observations sous une base de données. Ceci sera réalisé par deux PC couplés, reliés au réseau Renater, en vue d'une exploration entièrement automatisée des champs de galaxies.

Actuellement ce dernier programme n'est que partiellement réalisé.

Comme souligné précédemment, les conditions d'accès consécutives aux travaux de réaménagement de l'Observatoire du Pic du Midi ont rendu les interventions difficiles, mais elles devraient maintenant être rapidement complétées.

2.3. Anisotropies du fond diffus cosmologique de rayonnement micro-onde : les programmes PLANCK de l'ESA et ARCHEOPS

Les programmes

Depuis la publication des résultats de l'expérience DMR du satellite COBE, la mesure précise des fluctuations de température du fond cosmologique de rayonnement micro-onde (FCRM) est devenu un enjeu majeur de la cosmologie observationnelle. Dans la grande majorité des scénarios cosmologiques envisagés à ce jour, la détermination des propriétés statistiques de ces fluctuations en fonction de l'échelle angulaire permettra de réduire fortement l'espace des paramètres décrivant globalement notre Univers, et en particulier de déterminer au pourcent près les valeurs de la constante de Hubble H_0 , du paramètre de densité Ω_0 , de la teneur en baryons Ω_b ou de la constante cosmologique Λ .

Des observations au sol et en ballon permettent maintenant d'explorer la zone du spectre des anisotropies où sont attendus les premiers « pics Doppler », dont la position et l'intensité sont des informations capitales pour comprendre l'origine des fluctuations primordiales et mesurer les paramètres cosmologiques. Cependant, la sensibilité des expériences actuelles est encore très insuffisante pour tirer des mesures existantes des conclusions fortes.

La mesure des anisotropies du fond de rayonnement cosmologique nécessitent des détecteurs extrêmement sensibles, puisque, pour pouvoir contraindre les modèles, il convient de mesurer ces fluctuations avec des erreurs de l'ordre de la dizaine de microkelvins avec une résolution angulaire de l'ordre de la dizaine de minutes, et ce sur un large fraction du ciel. Pour atteindre ce niveau de sensibilités, il faut s'affranchir des effets de l'atmosphère (émissions parasites fluctuantes et bandes de transparence réduites qui restreignent le choix des fréquences d'observation), en effectuant les observations depuis des ballons stratosphériques ou, mieux, depuis l'espace.

Deux projets de satellites sont maintenant en chantier, un projet américain, MAP, destiné à voler bientôt (2001) mais qui n'atteindra qu'une sensibilité res-

treinte et une résolution angulaire moyenne (sensibilité de l'ordre de $50 \mu\text{K}$ par pixel de $13'$), et un projet européen piloté par l'ESA, PLANCK, qui volera en 2007, mais devrait atteindre une sensibilité de $5 \mu\text{K}$ avec une résolution angulaire de l'ordre de $7'$. Ces performances devraient permettre de déterminer les paramètres cosmologiques H_0 , Ω_0 , Ω_b avec une précision de quelques pourcents, et de détecter un Ω_Λ plus grand que 0,02.

L'équipe de cosmologie observationnelle du laboratoire a décidé de participer à l'instrument haute fréquence (HFI) du projet PLANCK sous deux de ses aspects : d'une part, en collaboration avec l'IAS (Orsay), l'étalonnage au sol et en vol, d'autre part le traitement des données et les simulations, dans le cadre du centre français de traitement des données de PLANCK, POSDAC (Paris-Orsay-Saclay Data Analysis Center).

Parallèlement à la préparation de PLANCK, le groupe de cosmologie observationnelle s'est impliqué dans la préparation de la mission ballon ARCHEOPS, dont le premier vol technique a eu lieu en juillet 1999 depuis la base de lancement de Trapani, en Sicile, et pour lequel un premier vol scientifique de 24 heures dans la nuit arctique est prévu pour janvier 2001 depuis la base de lancement de Kiruna en Suède. Le groupe est impliqué dans l'étalonnage, avec notamment la réalisation d'un contre-cryostat permettant l'étalonnage absolu dans les conditions de charge thermique de l'expérience réelle, dans la réalisation de la mémoire de masse embarquée, et dans la préparation de l'analyse en temps réel et du traitement des données.

2.3.2. L'étalonnage des missions PLANCK et ARCHEOPS

Au sein du consortium PLANCK nous avons choisi de prendre en charge avec l'IAS l'étalonnage au sol et en vol du détecteur HFI (High Frequency Instrument). Au sol le travail consistera en la mise en place à l'IAS d'un cryostat d'étalonnage qui devra être capable d'accueillir dès avril 2002 le modèle de qualification puis le modèle de vol en juillet 2003. D'ici là un important travail de mise en conformité des installations existantes suivi de la mise en place du système optique au sein d'une cuve cryogénique fonctionnant vers 2 K devront être étudiés puis réalisés. Ce travail qui a déjà commencé au niveau des études impliquera tous les corps techniques du laboratoire.

2.3.3. Simulations et traitement de données

Le traitement des données de mesures des anisotropies du FCRM est un problème complexe. A l'émission due aux fluctuations de température du fond cosmologique viennent en effet se superposer des émissions parasites astrophysiques d'origine très diverses : émission des poussières interstellaires, émissions bremsstrahlung ou synchrotron des électrons libres dans le milieu interstellaire ionisé, émission de sources extra-galactiques (radio-sources, galaxies infrarouges, amas de galaxies). A ces fluctuations d'origine astrophysique viennent s'ajouter, le cas

échéant, l'émission atmosphérique, et un certain nombre d'effets d'origine instrumentale, comme l'émission propre de l'instrument, les effets de lobes secondaires ou les effets de dérive à basse fréquence du signal.

La préparation du traitement des données de PLANCK et ARCHEOPS s'appuie fortement sur l'évaluation et la simulation des effets parasites à soustraire. Notre groupe s'est impliqué en particulier dans une réflexion sur les effets de lobes secondaires et dans l'étude des effets de l'atmosphère.

Un travail en collaboration avec R. Gispert à l'IAS et E. Audit à Meudon a porté sur l'étude de la séparation des composantes astrophysiques en présence d'effets de dérives systématiques à basse fréquence corrélées, dues par exemple à des fluctuations de température des miroirs de PLANCK, ou à l'émission de l'atmosphère dans le cas de la mission ARCHEOPS.

La méthode mise au point étend les méthodes existantes basées sur le filtrage de Wiener dans l'espace des échelles angulaires et des fréquences d'émission du rayonnement, en ne présupposant pas d'isotropie locale des propriétés spectrales, ce qui permet de prendre en compte les effets dus à la géométrie du balayage. Ce travail est une première étape dans la mise au point de méthodes globales s'appuyant sur les propriétés statistiques bi-dimensionnelles des émissions astrophysiques et mono-dimensionnelles des effets systématiques variables dans le temps, et s'appuyant sur les redondances temporelles caractéristiques de l'acquisition.

2.3.4. La mesure de la polarisation du FCRM

En 1997, le travail, en collaboration avec l'équipe de cosmologie observationnelle du LAL (Orsay) et un chercheur de l'IAS, a porté sur la préparation des mesures de la polarisation.

La polarisation. Les fluctuations du rayonnement cosmologique produisent une polarisation par diffusion Thomson sur les électrons lors des dernières interactions dans la surface de dernière diffusion. L'observation de cette polarisation fournit donc une information indépendante sur ces fluctuations. La distribution spatiale de la polarisation autour des points chauds et froids du FCRM, et en particulier sa parité, permet de caractériser la nature, scalaire, vectorielle ou tensorielle des fluctuations, ce qui est très important pour identifier l'origine de ces fluctuations. La connaissance de la polarisation sera aussi une aide importante pour caractériser et séparer les avant-plans.

Cependant, la polarisation attendue est très faible, de 1 à 10 % des fluctuations, et il est donc important d'optimiser cette mesure. C'est sur ce point qu'a porté un premier travail de l'équipe : mise en évidence de configurations des polarimètres qui permettent d'obtenir du même coup des erreurs minimales, les mieux réparties et les moins corrélées entre les trois paramètres de Stokes, et ceci indépendamment de l'orientation des polarimètres. Ces configurations : polari-

mètres régulièrement espacés sur un angle de 180° , ont été adoptées dans la réponse à l'appel d'offre de l'ESA.

Un autre point sur lequel le Laboratoire a travaillé en équipe avec le LAL et l'IAS est l'élimination des bruits de basse fréquence en utilisant la redondance aux points d'intersection entre différents cercles de balayage. Ce problème avait déjà été en grande partie résolu pour des données non polarisées en soustrayant une constante pour chaque cercle de balayage. La difficulté dans le cas de la polarisation est que les polarimètres sont orientés différemment lorsqu'ils repassent au même point le long de 2 cercles distincts, et donc n'observent pas exactement la même chose. Par contre, les paramètres de Stokes dans un système de référence fixe par rapport aux ciel sont les mêmes et peuvent être utilisés pour se débarrasser des bruits à basse fréquence. L'application de ce principe pour déterminer une constante par cercle et par polarimètre est au point et donne des résultats comparables à ceux déjà obtenus pour des données non polarisées.

L'avenir. Le travail de simulation de tous les bruits et biais qui affecteront les mesures de polarisation ne fait que commencer. Pour n'en citer que quelques uns, il faudra traiter les bruits de fréquence intermédiaire, les lobes d'antenne, le caractère étendu des pixels...

De façon plus générale, une équipe de simulation et traitement de données se met en place entre le Laboratoire, le LAL, l'IAS, l'IAP et le DAPNIA pour forger un outil de simulation polyvalent pour les mesures du FCRM, tant pour ARCHEOPS que pour PLANCK. Cet outil devrait devenir une des briques de POSDAC.

2.3.5. L'expérience DIABOLO

L'expérience DIABOLO est un petit photomètre dédié à l'observation du FCRM dans deux bandes de fréquences centrées sur des fenêtres de transmission atmosphériques. Le photomètre utilise des bolomètres refroidis à 100 mK par un petit cryostat à dilution du type utilisé pour PLANCK et ARCHEOPS. Le groupe s'est impliqué dans une campagne d'observation de l'effet Sunyaev-Zel'dovich en direction d'amas lointains effectuée depuis le télescope de 30 m de l'IRAM à Pico Veleta en Espagne. Nous avons également travaillé à l'analyse de données d'anisotropies du FCRM prises en 1997 au télescope POM2, situé au plateau de Bure dans les Alpes françaises (stage de S. Paulin-Henriksson).

Les physiciens qui ont participé dans l'année aux travaux du groupe de cosmologie observationnelle du Laboratoire sont : *A. Bouquet, J. Delabrouille, C. Ghesquière, Y. Giraud-Héraud, J.-C. Hamilton, J. Kaplan, A. Kim, Y. Le Du, B. Revenu et J.-C. Vanel.*

3. Étude des gammas cosmiques

L'étude du rayonnement gamma émis par les sources célestes est une nouvelle fenêtre ouverte dans leur spectre électromagnétique. Il permet l'étude des phé-

nomènes cosmiques les plus énergétiques de l'univers et en particulier est un outil pour la compréhension de l'origine des rayons cosmiques.

L'univers n'est pas totalement transparent au rayonnement gamma, qui interagit en particulier avec le fond infrarouge, et l'étude du spectre en énergie des rayons gamma cosmiques donne des indications sur la densité d'infrarouge intergalactique, densité corrélée à l'époque de formation des premières étoiles dans l'univers.

Le laboratoire est engagé dans 2 expériences en exploitation sur le site de THEMIS située à Targassonne dans les Pyrénées orientales, et utilisant toutes deux la technique Cerenkov atmosphérique : les particules pénétrant dans l'atmosphère créent des gerbes électromagnétiques ou hadroniques dont les particules rayonnent de la lumière Cerenkov. Cette lumière est recueillie par des miroirs. L'analyse de cette lumière donne des indications sur la nature du primaire et son énergie.

3.1. CAT

CAT est en phase d'exploitation de croisière. Une vingtaine de sources galactiques et extragalactiques sont suivies en permanence. En particulier 2 objets extragalactiques, les AGN Mrk501 et Mrk421 sont suivis simultanément par CAT — et les autres détecteurs gamma au sol de l'hémisphère Nord — et des détecteurs X (satellite Beppo Sax) et radio (VLBI). La mesure simultanée de la plus grande bande possible du spectre électromagnétique de ces puissants moteurs cosmiques est très importante pour parvenir à percer leur secret. Malheureusement ces sources extragalactiques sont extrêmement variables et restent donc très difficiles à détecter en gamma. Le Laboratoire joue un rôle de premier plan dans l'analyse des données.

3.2. CELESTE

Pour détecter des rayons cosmiques gamma d'énergie plus faible que ne le permet CAT (dont le seuil est autour de 250 GeV), il faut augmenter la surface des miroirs qui recueillent les photons Cerenkov émis par les gerbes. Le projet CELESTE utilise à l'heure actuelle 40 héliostats de l'ancienne centrale solaire THEMIS. Il devrait permettre de descendre à une cinquantaine de GeV. Le dispositif est à ce jour opérationnel et les premières observations ont commencé. Le faible seuil en énergie devrait permettre d'atteindre des objets plus lointains dans l'univers que CAT. Les sources suivies par CELESTE recoupent largement celles suivies par CAT. La présence sur le même site de ces 2 détecteurs complémentaires permet d'une part des calibrations croisées (garantissant une meilleure compréhension des deux appareillages) et surtout l'observation simultanée des sources, dans les mêmes conditions atmosphériques. Nous disposons sur le site d'outils uniques permettant l'observation entre 50 GeV et 10 TeV. Il est envisagé de doubler le nombre d'héliostats utilisés. Pour ce faire il est nécessaire de revoir

l'électronique de pilotage des héliostats qui a presque 20 ans d'âge. Le Laboratoire a la responsabilité de l'étude du nouveau système.

La connaissance de la transmission de l'atmosphère pour interpréter les données provenant des détecteurs utilisant la technique de Cerenkov atmosphérique est importante. Afin d'essayer de mesurer cette transmission, un LIDAR est en cours de construction avec la participation de notre groupe sur le site de THEMIS. Le principe est simple : un laser (multilongueur d'onde) envoie des impulsions lumineuses dans l'atmosphère et l'analyse de la lumière rétrodiffusée par cette dernière donne des informations sur sa transmission. Ce projet est une collaboration entre la Région Midi-Pyrénées et le CNRS (INSU et IN2P3). Un prototype est en test sur place et la construction d'une version définitive est en cours. Le Laboratoire est impliqué uniquement dans la mécanique de l'appareil qui devrait être opérationnel à l'automne 1999.

Le laboratoire prépare aussi l'avenir et s'intéresse à 2 projets nouveaux en astronomie gamma.

3.3. HESS

C'est un ensemble de 4 télescopes utilisant la technique du Cerenkov atmosphérique avec chacun un miroir de 50 m^2 et une caméra de 800 pixels. Ce projet franco-allemand sera installé en Namibie. La surface du miroir et l'utilisation de la technique stéréo devrait permettre d'atteindre un seuil en énergie de 100 GeV environ. Le dispositif dans son ensemble aura une sensibilité 100 fois meilleure que celle de CAT. Ses caractéristiques et son lieu d'exploitation (l'hémisphère Sud) font de cet instrument un moyen très performant d'étudier l'émission gamma des restes de supernovæ. Ces objets devraient être, suivant les théories les plus en vogue, le lieu privilégié d'accélération des rayons cosmiques de notre galaxie et devraient par conséquent être des émetteurs gamma, ce qui n'a pas été observé jusqu'aujourd'hui. Le Laboratoire compte s'intéresser à l'électronique des caméras et à l'acquisition de leurs données. Le détecteur devrait être opérationnel en 2002.

3.4. GLAST

C'est un projet américain de détecteur de rayons gamma de quelques MeV à une centaine de GeV embarqué dans un satellite et qui sera opérationnel en 2006. Le détecteur comprend un tracker, formé d'un sandwich de strips de silicium et de minces feuilles de plomb, et un calorimètre en CsI. Les gammas incidents se convertissent dans le tracker en une paire électron-positron dont les directions sont déterminées à l'aide des microstrips de silicium, et l'énergie par le calorimètre, ce qui permet une mesure en direction et en énergie des gammas incidents. Cet appareillage est le successeur du détecteur EGRET installé sur le satellite CGRO et qui arrive en fin de vie. Son grand champ de vue, sa grande surface de collecte et sa résolution angulaire en font un outil fondamental pour la recherche de

sources gammas et leur identification éventuelle avec des objets connus comme émetteurs dans d'autres longueurs d'onde. La France est partie prenante dans la construction du calorimètre et le laboratoire plus précisément dans sa simulation et des tests auprès du CERN.

Avec CAT et CELESTE, le Laboratoire est impliqué dans des expériences de rayons gammas cosmiques couvrant un large domaine du spectre électromagnétique (de 50 GeV à 10 TeV). En élargissant encore ce domaine, il étendra son champ de vue (au moins à basse énergie) avec GLAST et sa sensibilité à haute énergie (100 GeV) avec HESS.

Ont participé à ces activités au Laboratoire : C. Boutonnet, B. Courty, A. Djannati-Ataï, C. Dufour, M.-G. Espigat, P. Espigat, B. Giebels, L. Guglielmi, F. Lelong, D. Marchand, F. Münz, M. Punch, J.P. Rény, S. Selmane, D. Vallée, A. Volte, B. Yoffo.

4. Observatoire Pierre Auger

L'étude des rayons cosmiques est essentielle pour la compréhension des mécanismes astrophysiques à l'œuvre dans l'univers. Durant les trois dernières décennies, plusieurs des ces rayons d'énergie supérieure à 10^{19} eV ont été observés par divers détecteurs. Aussi rare qu'elle soit, l'arrivée dans l'atmosphère terrestre de particules ou de noyaux ayant une énergie aussi énorme reste inexpiquée, et il est nécessaire, pour comprendre ce phénomène, de mesurer avec précision la distribution en énergie des particules, leur direction et de déterminer leur nature.

Le flux de ces particules, extrêmement faible, est estimé à $0,02/\text{km}^2/\text{an}$. L'obtention d'une centaine d'événements par an exige donc un détecteur couvrant une très grande surface au sol.

Depuis 1992, une collaboration internationale de taille régulièrement croissante s'est fixé pour objectif de mettre techniquement au point, de promouvoir et finalement de construire un détecteur dont le but principal est de déterminer la nature et l'origine de ces rayons d'énergie extrême. Le travail effectué s'est concrétisé dans un *rapport de conception* du détecteur, régulièrement remis à jour au fur et à mesure que les options techniques s'affinaient et que le champ d'investigation physique du projet s'élargissait.

L'Observatoire Pierre Auger sera un détecteur *hybride*, constitué de deux réseaux géants (d'environ $3\,000\text{ km}^2$ chacun) et d'un ensemble de télescopes à fluorescence (du type « Fly's Eye ») ayant la même couverture géométrique que le réseau. Chacun des réseaux est constitué d'environ $1\,600$ *stations locales* (cuves remplies d'eau dans lesquelles les particules sont détectées par leur rayonnement Cerenkov) espacées de 1,5 km et formant un maillage triangulaire.

La difficulté technique principale dans la réalisation du réseau réside dans sa grande taille. Il est en effet exclu, pour des raisons de coût, de relier par câbles

les 1600 stations. Il est donc nécessaire de les rendre autonomes, ce qui implique des contraintes pour le détecteur :

— l'alimentation électrique sera réalisée grâce à des panneaux solaires, imposant un choix de composants électroniques de consommation minimale,

— les informations entre les stations locales et la station centrale seront échangées par voie hertzienne,

— la détermination précise du temps d'arrivée des particules (nécessaire à 10 ns près) sera effectuée grâce au système de positionnement par satellites Gps.

L'origine des rayons cosmiques d'énergie ultime étant inconnue, il est crucial d'associer dans cette recherche deux sites fournissant une couverture aussi uniforme que possible du ciel. Cette couverture est optimale, avec la technique choisie (qui permet la reconstruction des gerbes avec un angle d'incidence pratiquement quelconque) et des sites situés entre 35° et 40° de latitude Nord et Sud. Le fait que le site austral puisse explorer de manière privilégiée la direction du centre de la Galaxie et le site boréal les directions extra-galactiques permettra de déceler tout effet, même faible, dû soit à une localisation particulière des sources, soit à des différences de champ magnétique entre les régions galactiques et extra-galactiques.

Enfin, le site Sud prend une importance toute particulière du fait qu'historiquement aucun détecteur majeur de rayons cosmiques de hautes énergies n'a fonctionné dans cet hémisphère.

Durant les années 1995 et 1996, une équipe de prospection a évalué une vingtaine de sites candidats et visité une douzaine d'entre eux. Elle a présenté ses conclusions à la collaboration lors de deux réunions générales. Deux sites ont été choisis sur des critères topographiques, atmosphériques, physiques, mais également en fonction du soutien scientifique et économique proposé par les pays candidats. Les deux sites choisis sont ceux d'El Nihuil, dans la province de Mendoza en Argentine, et de Millard County dans l'Utah (USA).

Pour les raisons citées au paragraphe précédent, nous commencerons par construire l'Observatoire Pierre Auger argentin, qui a été accepté en 1999 et dont le plan de financement s'étend sur les années 1999-2003. La première pierre a été posée en mars 1999 et l'année 2000 devrait voir la réalisation de la première étape : le réseau test, de surface comparable au plus grand réseau actuellement en fonctionnement (AGASA au Japon). Il sera constitué d'une quarantaine de stations locales, de la station centrale, d'un détecteur de fluorescence et de 2 stations de télécommunications. Les divers éléments de ce réseau test seront encore des prototypes. A partir de 2001 et jusqu'à 2003, l'observatoire austral sera progressivement installé. Ce détecteur étant modulaire, nous espérons prendre des données physiques à partir de la fin de l'année 2000.

La collaboration, à ce jour, représente 19 pays et une cinquantaine d'institutions. La participation française, fortement pluridisciplinaire, regroupe des labo-

ratoires appartenant à 4 départements du CNRS. Les groupes français sont présents depuis ses origines dans ce projet et Paris en a été une des plaques tournantes, lieu de plusieurs réunions générales ou activités décisives. Nos équipes ont activement participé à la phase de développement technique du projet, avec des responsabilités précises depuis 1995.

Les activités du Laboratoire, au sein de cette collaboration, portent essentiellement sur :

1. **Simulation des gerbes** de haute énergie. Cette simulation est délicate en raison d'une part des milliards de particules constituant les gerbes, et d'autre part des énergies des particules participant aux premières interactions, situées bien au-delà du domaine accessible expérimentalement auprès des accélérateurs. Nous avons ainsi entamé une approche destinée à la fois à réduire les problèmes posés par la multiplicité et à rendre flexible l'utilisation de différents modèles ou extrapolations d'interactions hadroniques. L'influence des fluctuations, dans le cadre de ces différents modèles a été étudiée mais reste à affiner. Parmi les travaux effectués, nous pouvons encore citer
 - l'étude de l'effet Landau-Pomeranchuk-Migdal, qui réduit les sections efficaces des interactions électromagnétiques. Les premiers résultats semblent mettre en cause la possibilité de discrimination entre photons et hadrons primaires, habituellement réalisée grâce aux proportions de muons et de particules électromagnétiques présentes dans les gerbes,
 - l'étude de l'effet du champ géomagnétique sur la propagation des gerbes, pour une meilleure distinction entre protons et noyaux primaires.
2. **Contrôleur** de stations locales. La principale responsabilité technique du Laboratoire est la réalisation du contrôleur formant l'intelligence de chaque station locale et donc le centre névralgique du système d'acquisition du réseau. Le Laboratoire en a la responsabilité complète pour l'ensemble de la collaboration, tant pour sa conception et sa construction que pour la réalisation du logiciel d'acquisition des données.

Un premier prototype du contrôleur a été construit et testé et une première version de l'acquisition y a été installée. La deuxième version de ce matériel et de ce logiciel devrait être prête début septembre 99.

Le Laboratoire est également chargé de la construction de la carte de contrôle et de surveillance (hautes tensions des photo-multiplieurs, températures, batteries associées aux panneaux solaires, électronique de décision...).

3. **Mesure du temps** d'arrivée des particules de la gerbe. Cet équipement est sous la responsabilité du laboratoire du Temps et des Fréquences de l'Observatoire de Besançon. Notre équipe a fortement participé à la conception du premier prototype et a été associée à sa réalisation. De plus, nous avons la responsabilité de la fabrication d'un ASIC qui concentrera toutes les fonctionnalités de cette carte en un seul composant électronique. Cet ASIC équipera le

prototype de 2^e génération (qui doit être fonctionnel au début du 4^e trimestre 2000) et la carte définitive.

4. **Télécommunications.** Les maîtres d'œuvre pour la gestion des télécommunications sont d'une part le laboratoire de l'Université de Leeds, en Angleterre (liaisons stations locales — stations de base), d'autre part le LPNHE et l'ENST, à Paris (liaisons stations de base — station centrale). Le Laboratoire a toutefois joué un rôle déterminant dans la conception de la stratégie à utiliser dans ce réseau de télécommunications. Il est également associé au LPNHE et à l'ENST pour la recherche des matériels à utiliser dans les stations de base et dans la station centrale.

Enfin, nous participons à l'élaboration d'un programme de simulation globale du réseau de télécommunications pour lequel nous avons la responsabilité des stations locales et d'une partie de la simulation des stations de base.

Les prototypes de l'électronique devant équiper les stations locales du réseau test sont modulaires (électronique de décision, contrôleur, datation, télécommunications et surveillance). La place centrale qu'occupe le Laboratoire dans ce domaine nous conduira vraisemblablement à prendre la responsabilité de l'intégration de ces modules en une carte unique et définitive qui doit équiper, à partir de 2001, les stations locales.

Participent à cette activité au Laboratoire : *C. Boutonnet, J.-M. Brunet, J.-N. Capdevielle, B. Courty, P. Frenkiel, L. Guglielmi, C. Le Gall, J.-J. Jaeger, G. Tristram, J. Waisbard.*

5. L'expérience de CHOOZ

5.1. Le résultat de CHOOZ

Le résultat publié par l'expérience de CHOOZ en 1998 s'est avéré très important par ses conséquences sur les expériences futures de physique des particules. Il a d'ailleurs été cité plus de 200 fois en un an, ce qui est assez rare dans ce domaine.

En effet l'expérience de SUPERKAMIOKANDE au Japon a annoncé la mise en évidence de la masse du neutrino en juillet 1998. Ce résultat est pris très au sérieux, et entraîne un important programme expérimental pour le vérifier. Or le résultat de CHOOZ permet d'exclure une des deux interprétations possibles de l'expérience de SUPERKAMIOKANDE. L'oscillation de neutrinos correspondante ne peut avoir lieu qu'entre neutrinos de types μ et τ . Les expériences à venir intègrent cet acquis dans leur conception, et le résultat de CHOOZ est devenu une des pierres angulaires de ces projets.

5.2. CHOOZ : l'expérience

L'expérience a été initiée par la rencontre de quelques physiciens français (la plupart venant du Collège de France) et russes (de l'Institut Kurchatov). La mise

en commun de leurs acquis dans ce domaine difficile des neutrinos de basse énergie a été le facteur dynamique à l'origine du projet. Cela a permis de définir un détecteur performant, qui a été construit à Chooz, dans les Ardennes. Les neutrinos émis par les réacteurs nucléaires sont détectés à 1 km de leur point de départ.

Le détecteur comporte une cible de 6 t de scintillateur liquide dopé au Gd, plongée dans 120 t de scintillateur liquide non dopé, dont elle est séparée par une mince paroi transparente. La cible est regardée à distance par 192 photomultiplicateurs.

Les liquides scintillants, de grande transparence et délicats, sont acheminés jusqu'au détecteur, depuis des réservoirs situés à l'extérieur, par une galerie de 200 m de long, avec une différence de niveau de 15 m. La fragilité du détecteur impose un remplissage simultané des différents éléments, avec une précision de l'ordre du centimètre. Le liquide scintillant a dû être changé en mars 97, et cette opération s'est déroulée avec succès.

La collaboration de CHOOZ réunit 3 universités américaines (Philadelphie, New-Mexico et Irvine), 2 universités italiennes (Pise et Trieste), l'Institut Kourchatov à Moscou et 2 laboratoires français (le LAPP à Annecy et le Collège de France).

Le résultat atteint est de très bonne qualité. Le bruit de fond est bas (20 fois plus faible que le signal), ce qui est rare dans ce domaine.

5.3. La contribution du Laboratoire

Le Laboratoire a été un des principaux laboratoires impliqués dans cette expérience, à tous les stades du génie civil, de la mécanique, de l'électronique et de l'analyse des données.

La construction du laboratoire d'étude des neutrinos dans le tunnel a été financée par EdF, et suivie par ses bureaux d'études. Le Laboratoire a pris en charge la liaison avec ces bureaux d'études, et le suivi du chantier (*D. Marchand*). Cette construction s'est avérée plus longue, difficile et coûteuse que prévu, notamment pour des problèmes de dureté de la roche.

Le Laboratoire a également pris en charge la cuve principale du détecteur. Les peintures réfléchissantes internes ont été sélectionnées au Laboratoire (*P. Guillouët*).

Les systèmes de remplissage et de vidange du détecteur et leur maniement étaient également sous la responsabilité d'une équipe du Laboratoire (*P. Guillouët, D. Monnot, M. Obolensky, P. Salin, V. Vyrodov*).

Le Laboratoire a développé un système pour échantillonner à 200 MHz les impulsions de photomultiplicateurs signant les interactions de neutrinos, en vue d'en mesurer à la fois l'amplitude, le temps et la forme. (*P. Courty[†], G. Desplanches, H. de Kerret, D. Kryn, F. Roger, S. Soukhotine, J. Vergne*).

Une carte Fastbus a été développée pour cela au Laboratoire par *P. Courty* qui, malgré une douloureuse maladie, l'a mise au point et mise en service, jusqu'à quelques semaines de son décès.

Elle a été fabriquée en collaboration avec la société CAEN à Pise. Une version destinée à être commercialisée a été étudiée dans le cadre d'un CROP (Contrat de Recherches à Objectifs Partagés). (*F. Roger*).

Comme dans les expériences précédentes, la base de données (*J. Boucher*), l'acquisition (*D. Kryn*), la simulation (*H. de Kerret*, *B. Lefièvre*), et l'analyse des données (*M. Obolensky*) constituaient un des axes importants de l'activité du groupe.

La contribution des physiciens russes de l'Institut Kurchatov, dans le cadre du PICS (Programme International de Coopération Scientifique) 209, a été un apport essentiel.

Au total, l'ensemble du personnel du Laboratoire a fourni un effort très important, qui a été la clef du succès de cette expérience.

5.4. Vers de plus petites masses

L'expérience de CHOOZ a montré la puissance de ce type de détection. Deux importantes collaborations internationales, KAMLAND (Japon) et BOREXINO (Italie) prennent le relais, détectant des neutrinos à des centaines de kilomètres du réacteur qui les crée. En même temps, ces détecteurs visent à étudier les neutrinos issus du soleil, qui sont dans la même gamme d'énergies (1 MeV environ).

Le groupe vise à rejoindre l'expérience BOREXINO. Il a proposé l'utilisation du flash-ADC à 400 MHz (Cf. 5.3), développé pour CHOOZ. Ce flash-ADC sera utilisé dans le cadre d'une R & D préparatoire à BOREXINO dès l'été 1999. La participation du groupe à BOREXINO sera discutée en Conseil Scientifique à l'automne de 1999.

L'expérience BOREXINO joue un rôle de pionnier dans la mise au point de techniques de basse radioactivité, et cela crée une synergie importante avec les autres expériences à l'étude, comme HELLAZ sur les neutrinos solaires.

6. Projet HELLAZ : la mesure du spectre des neutrinos solaires

6.1. Principe de HELLAZ

Aucune des expériences mesurant des neutrinos solaires ne peut montrer de spectres en énergie du neutrino en dessous de 6 MeV (SuperKamiokande au Japon). La comparaison avec le spectre théorique (John Bahcall ou Sylvaine Turck-Chièze) pour les neutrinos de la chaîne pp (en dessous de 480 keV) est fondamentale car le flux pp est connu à mieux que 1 % par la mesure de la

luminosité du soleil et ceci est en désaccord avec les mesures intégrées des expériences GALLEX et SAGE. C'est pourquoi la forme du spectre est indispensable pour lever les ambiguïtés entre les diverses solutions d'oscillations.

Il faut donc construire un spectromètre à neutrinos solaires sensible jusqu'à 100 keV et de résolution meilleure que 10 %. Cette dernière pourra être contrôlée par l'élargissement de la raie des neutrinos issus du ${}^7\text{Be}$.

Le détecteur envisagé, qui joue en même temps le rôle de cible, pourrait être une chambre à projection temporelle (TPC) de 2000 m³ remplie d'hélium à 10 bars et 150 K, permettant l'acquisition par jour d'une dizaine d'événements de diffusion élastique de neutrino solaire sur électron.

La condition pour obtenir la précision souhaitée est de déterminer la direction de l'électron de recul avec une précision meilleure que 5°, ce qui est possible si l'on mesure chaque électron d'ionisation de la trace.

6.2. État de la R & D : HELLAZ-1

Poursuivant la R & D sur la chambre MICROMEGAS (voir le rapport de l'année dernière), nous avons construit une enceinte de petit volume (2 l) permettant la mise en équilibre rapide de mélanges gazeux jusqu'à 10 bars.

Utilisant comme « quencher » du méthane (lequel n'est liquide qu'en-dessous de 100 K), nous avons déterminé le meilleur pourcentage à introduire dans l'hélium à diverses pressions, et ce chiffre baisse de 25 % pour 1 bar à 5 % pour 10 bars.

Les impulsions obtenues sont toujours propres et assez rapides pour rester sous la barre fatidique de 10 ns de largeur. L'écartement anode-cathode est passé de 100 μm pour 1 bar à 50 μm pour 10 bars. Nous avons mis au point une grille isolante en kapton pour assurer uniformément cet écartement. Une anode en circuit double-couche est tirée au CERN pour avoir sur MICROMEGAS une information X - Y (64 voies en X et 64 voies en Y). Nous construisons 128 préamplis à base commune et disposons des discriminateurs et des TDC. Le test crucial de fabrication de vraies traces est donc prêt. Nous commencerons par des traces droites formées par des muons cosmiques. Puis nous passerons à des traces d'électrons d'environ 300 keV en utilisant l'effet Compton induit par les gammas de 511 keV du ${}^{22}\text{Na}$.

Parallèlement, nous avons engagé un important travail de simulation. Le programme GEANT du CERN engendre aux alentours de 200 keV des traces d'électrons, qui ionisent l'hélium et produisent des nuages d'électrons. Ceux-ci, après une dérive de longueur variable, sont analysés au moyen de différents algorithmes permettant de reconstituer énergie et direction de l'électron. Dans une deuxième phase, on simule aussi les chambres de lecture, ce qui permet d'évaluer les diverses configurations et leur effet sur la précision des mesures. Enfin, une

importante part de la simulation consiste à introduire du bruit de fond radioactif avec les données et à extraire ces dernières au moyen de l'algorithme dit du « soleil tournant ».

6.4. Étude des matériaux de basse activité

Le germanium à bas bruit installé à Modane donne des résultats satisfaisants. Il permet d'obtenir à partir de petits échantillons de matière une sensibilité de 10^{-10} g/g d'U-Th. Cette sensibilité pourra être améliorée d'un facteur 100 pour certains matériaux non métalliques par activation neutronique. Nos contacts avec BOREXINO nous permettent d'envisager cette opération auprès de leur réacteur de Munich. Nous avons au Laboratoire entrepris d'explorer une autre voie. La méthode repose sur une particularité de la désintégration des chaînes $^{238,235}\text{U}$ et ^{232}Th . Un isotope de ces trois chaînes est un gaz monoatomique, le radon, avec ses trois isotopes $^{222,220,219}\text{Rn}$. Cependant, seul le ^{222}Rn peut être capturé et mesuré, car sa demi-vie, (3,8 jours) est assez longue. Les deux autres ont des demi-vies de quelques secondes. Ces caractéristiques permettent d'envisager la construction d'un banc d'émanation et de concentration du ^{222}Rn . Après émanation et concentration sur un piège à charbon actif refroidi, le radon est relargué dans un petit détecteur puis mesuré pendant plusieurs semaines. Le nombre d'atomes de radon comptés permet de remonter à la concentration originelle.

Le principe de la mesure repose sur la coïncidence retardée (162 μs), entre les désintégrations des noyaux de ^{214}Bi et ^{214}Po . Dans le cadre de BOREXINO, nos collaborateurs russes ont atteint la limite de 10^{-10} g/g en ^{238}U et ^{232}Th .

Afin de réaliser dans des conditions de propreté optimum le banc d'émanation/concentration, nous avons reconditionné la salle « propre » qui avait servi aux études pour l'expérience de CHOOZ. Ces travaux sont maintenant achevés, et nous pouvons y monter le prototype HELLAZ-1 dans de bonnes conditions.

7. Expérience DELPHI au LEP

Sur le collisionneur LEP au CERN, le Laboratoire participe à la collaboration DELPHI constituée de 550 physiciens provenant de 56 laboratoires européens, russes et américains. Depuis 1996, la montée en énergie se poursuit, et après l'étude de la production de paires de W au seuil à une énergie totale de 161 GeV, la recherche du boson de Higgs s'est poursuivie à des énergies de 172 GeV et 184 GeV. En 1998, une amélioration significative de la luminosité a permis d'atteindre une sensibilité de plus de 150 evts/pb à 189 GeV. Les premières collisions de l'année 1999 ont eu lieu à 192 GeV et l'énergie devrait passer à 196 et 198 GeV à la fin de l'année.

Le changement d'orientation scientifique de notre Laboratoire nous conduit à nous désengager graduellement de nos responsabilités dans DELPHI, et notre

activité s'y limite maintenant au suivi du fonctionnement du matériel construit par le Laboratoire.

Le nouveau du détecteur de vertex au silicium installé au printemps 1997 a parfaitement rempli son rôle. Ce détecteur à « pixels » (damiers de $330\ \mu\text{m} \times 330\ \mu\text{m}$) conçu et réalisé par une collaboration entre le Laboratoire, le CPP de Marseille et les Universités de Karlsruhe, Milan et Wuppertal, en améliorant sensiblement la reconnaissance des traces partant vers l'avant (entre 10° et 25°), donne à DELPHI une couverture angulaire homogène, indispensable à la recherche de nouvelles particules.

Le système d'acquisition de données du grand détecteur de rayonnement Cerenkov à imagerie annulaire (barrel RICH) ainsi que le système de calibration automatique, réalisés au Laboratoire, ont parfaitement fonctionné tout au long de l'année. (*B. Courty, J.-M. Brunet, J. Dolbeau, L. Guglielmi, G. Tristram*)

S. Lantz a assuré la diffusion de la documentation DELPHI au sein du Laboratoire.

8. Activités en Informatique

En physique des particules, l'informatique est un outil indispensable à tous les stades d'avancement d'une expérience : simulation, conception et construction des détecteurs, acquisition et analyse des données. Une partie est fournie par les centres de l'IN2P3 et (de moins en moins) du CERN, mais tout un ensemble de fonctionnalités nouvelles a sa place au sein même du Laboratoire.

8.1. Évolution des infrastructures

8.1.1. Le réseau local

L'infrastructure de base est articulée autour d'un réseau local Ethernet, maintenant complet, et d'un réseau Apple-Talk entre MacIntosh. Ces réseaux assurent les communications et connexions internes au Laboratoire, ainsi que l'accès au réseau de l'IN2P3.

Le protocole de communication TCP/IP s'est imposé comme standard de fait dans notre environnement informatique fortement inhomogène.

8.1.2. Les matériels et leurs systèmes d'exploitation

Sont actuellement connectés au réseau local Ethernet un ensemble de machines de puissances et de marques diverses :

- Deux ALPHA/OSF1, une HP-9000/780/UNIX, un PC/PII-300/LINUX, un PC/PII-450/LINUX et une HP-9000/715/UNIX puissants et modernes, assurent les services généraux (service aux terminaux X, infrastructure logicielle,

bibliothèques générales, impressions diverses, sauvegarde des données et des programmes) ainsi que la mise au point des programmes d'analyse. Le dernier servira de support aux applications vidéo.

- Deux ALPHA/OSF1 dédiées à la CAO mécanique (logiciel DEC-UNIX).
- 6 stations de travail SUN/UNIX sont dédiées à la CAO électronique (logiciels CADENCE).
- 2 stations de travail HP/UNIX sont utilisées par certaines expériences pour des tâches spécifiques.
- 4 serveurs de terminaux permettant l'accès simultané, par TCP/IP, à plusieurs machines locales ou distantes.
- 6 imprimantes laser noir et blanc et 1 imprimante couleur à jet d'encre solide directement connectées au réseau Ethernet.
- des serveurs d'impression spécialisés permettant l'accès aux imprimantes non directement connectées.
- plusieurs machines sous système OS9 pour le développement de logiciels d'acquisition de données.

8.1.3. La politique d'équipement et les réalisations cette année

L'ensemble du réseau supporte, en moyenne, une trentaine d'utilisateurs simultanés.

En raison des baisses de prix constantes, nous avons abandonné l'équipement en terminaux X au profit de PC sous LINUX. Ces PC sont utilisés en priorité comme terminaux X, mais peuvent également servir de stations de travail personnelles. L'équipement se poursuivra avec des PC de plus en plus puissants, pour un prix toujours plus bas.

Le grand nombre d'appareils connectés à ce réseau (calculateurs, imprimantes, terminaux X) rendant sa fiabilité cruciale, nous nous sommes équipés d'un analyseur de réseau.

Le Laboratoire a adopté pour toutes ses unités (DEC/ALPHA, APOLLO, SUN, HP et PC), le système UNIX sous toutes ses variantes (LINUX pour les PC) comme ailleurs dans notre discipline, aussi bien pour les calculateurs des expériences que pour ceux des grands centres de calcul (CERN et CCIN2P3 notamment).

Dans le domaine de l'acquisition de données et du contrôle, le service informatique est fortement impliqué dans les expériences, utilisant la chaîne de développement croisé (FasTrak) pour microprocesseurs POWERPC sous OS9 acquise en 1996 (et mise à jour en 1999) ou la chaîne de développement OS9 pour microprocesseurs MOTOROLA utilisée depuis déjà plusieurs années.

Www (World Wide Web) est un ensemble de logiciels qui permet, au travers du réseau Internet, d'accéder à une base documentaire répartie dans un grand

nombre d'instituts de par le monde. Nous avons installé, depuis déjà quelques années, cet ensemble de logiciels pour, à la fois, accéder et contribuer à cette base documentaire.

Le laboratoire a apporté un soutien important à l'installation au Collège de France d'un serveur Web, temporairement accueilli sur le serveur du Laboratoire.

8.2. Assistance aux utilisateurs

Plus de la moitié des informaticiens est affectée directement à une ou plusieurs expériences, où leur rôle est de développer et d'exploiter les logiciels ou de gérer les données spécifiques à ces expériences : programmes de simulation et/ou d'analyse, acquisition et visualisation de données, mise en place et utilisation de bases de données et de programmes de service.

Les liens entre les informaticiens ont été renforcés avec la création d'un véritable service informatique en début de l'année 1997. Cette nouvelle organisation facilite le maintien des outils généraux et a permis de consacrer davantage d'efforts au développement d'applications originales d'usage commun. Le service s'est renforcé cette année par un CDD pour un an et une mutation sur AFIP. En revanche un ingénieur a quitté le laboratoire pour un autre domaine.

L'effort important consacré l'année passée à l'harmonisation et la standardisation des logiciels sur les différentes plate-formes disponibles au laboratoire, ainsi qu'à la documentation (mise en ligne sur le Web) s'est poursuivi cette année encore.

C'est en particulier le cas dans le domaine de l'acquisition de données, où de nombreux développements, regroupant plusieurs informaticiens, électroniciens et physiciens, sont en cours pour les expériences dans lesquelles le laboratoire est engagé.

- AUGER : acquisition de données des stations locales (microcontrôleur PowerPC 403 sous OS9000)
- CELESTE : contrôle des héliostats (microcontrôleur MC68332 sous OS9).
- SUPERNOVÆ : automatisation du télescope T55 (PC sous LINUX).
- ARCHEOPS : enregistreur de vol (PowerPC 403 sous OS9000).
- HELLAZ : acquisition (PowerPC 604 sous OS9000).
- PLANCK : pilotage et acquisition de la calibration (PC sous LINUX).

En outre, quelques informaticiens se sont portés volontaires pour donner, à l'intérieur du Laboratoire, quelques cours d'initiation et/ou de perfectionnement à des logiciels largement utilisés dans notre discipline (UNIX, Temps Réel, C, X11, réseaux, ...).

Plusieurs ont participé à des conférences ou écoles de formation.

Les informaticiens du Laboratoire sont : *J. Boucher, C. Dufour, M.-G. Espigat, A. Faye, L. Guglielmi, C. Lamy, C. Poutot, D. Poutot, D. Vallée et J.-P. Villain.*

9. Activités en électronique

Restructuré en service depuis 2 ans dans le cadre de la nouvelle UMR, le groupe d'électronique contribue de façon très étroite aux diverses expériences du Laboratoire selon les besoins. Des petites équipes, le plus souvent des individualités, apportent leurs contributions à la plupart des activités, mais il est impossible de créer les binômes souhaitables pour un bon suivi. Les ingénieurs concepteurs auraient besoin d'assistants pour les seconder dans le suivi de leurs activités.

Globalement le nombre d'électroniciens continue à diminuer. Nous avons encore perdu au début de 1999 un IE en CDD, bien formé à nos techniques, car présent dans notre équipe depuis plus de 2 ans. En outre aucun recrutement au niveau AI, comme nous l'avions demandé, n'a eu lieu depuis un an (Les rares AFIP qui se sont présentés ne convenaient pas à nos besoins).

9.1. Réalisations récentes ou en cours

Cosmiques (Cf. sect. 4) :

Participation aux installations sur site des systèmes électromécaniques de commande du télescope T55, mise en place et traitement de capteurs de température sur les installations.

Modifications des commandes de puissance des moteurs nécessaires sur CELESTE ; étude du système numérique de contrôle/commande et d'asservissement de ces moteurs (microprocesseur 68332).

Mise au point d'un système de télécommunications ad-hoc entre les divers détecteurs de CELESTE, afin de remplacer les liaisons filaires actuelles.

Test du premier prototype de ces deux ensembles sur le site. Fabrication de 40 unités prévue en 1999

HELLAZ (Cf. sect. 7) :

Mise en service et participation aux tests de plusieurs types de chambres différents pour HELLAZ (MGWC, MICROMEGAS, ...)

R & D sur l'électronique de lecture de chambres type MICROMEGAS. Conception et mise au point d'amplificateurs de courant très rapides ($T_m = 1$ ns). Adaptation à divers types de signaux, etc. Préparation de la chaîne d'acquisition (128 voies de discriminateurs et de TDC de résolution temporelle 1 ns)

PLANCK (Cf. sect. 3) :

Démarrage des activités induites par les prises de participation du Laboratoire dans les expériences PLANCK et ARCHEOPS. Pour ARCHEOPS : fabrication d'un

système embarqué de stockage des données (mémoires flash à semi-conducteurs de 2 Go). Ce système est conçu autour d'un micro-contrôleur du type POWERPC 403

AUGER (Cf. sect. 5) :

Étude et réalisation d'une carte d'acquisition et de dialogue à base de micro-contrôleur POWERPC 403, pour le contrôleur de station locale ($2 \times 1\,600$ exemplaires prévus). Conception d'une seconde version du prototype. Liaison avec la carte de « timing » de Besançon. Étude d'un second prototype de carte timing, avec des FPGA plus performants pour les 40 premiers prototypes prévus. Démarrage de la conception d'un ASIC en collaboration avec l'Observatoire de Besançon, pour remplacer les FPGA dans les versions définitives.

9.2. Activités d'intérêt général

Un AI électronicien/informaticien, (par ailleurs également « assistant micro » à temps partiel) assure pour l'ensemble du groupe électronique :

- le fonctionnement et l'assistance logicielle des 7 postes d'IAO/CAO électronique : implantation de circuits imprimés (ALLEGRO), simulation logique et analogique, PIC designer, ARTIST, ALTERA, etc.
- la mise à jour des logiciels.

Un TP électronicien assure la gestion du magasin : stock courant, commandes, maintenance, documentation, etc., pour l'ensemble du groupe, tout en participant sur site aux expériences : Chooz (Ardennes) (Cf. sect. 6) — démantèlement — et T55 (Pic du Midi) — mise en place — (Cf. sect. 4).

Deux personnes (un TP et un T) assurent la Conception Assistée par Ordinateur (ALLEGRO) de toutes les cartes de circuit imprimé multicouches nécessaires aux diverses activités précitées, en relation directe avec les ingénieurs.

Les électroniciens du Laboratoire sont : *M. Abbès, C. Boutonnet, D. Broszkiewicz, B. Courty, G. Desplancques, J.-J. Jaeger, D. Monnot, S. Selmane, P. Tardy, J. Vergne, J. Waisbard*, assistés de *J.-P. Villain* pour la CAO (1 IE CDD en moins que l'année dernière).

10. Mécanique

10.1. Gammas cosmiques (Lidar)

La construction du Lidar, en vue de permettre une meilleure calibration de l'ensemble des détecteurs du site de Thémis, se poursuit :

Nous avons réalisé une maquette au quinzième, pour l'acceptation du projet. Une partie basse en maçonnerie : Une dalle de 51 cm, permettant de rehausser la construction pour être en partie hors neige — un mur d'enceinte circulaire d'une

hauteur de 2 mètres, avec porte et fenêtre — un pylône central, en béton armé, pour recevoir la structure d'environ 2,4 tonnes — un dôme en fibre de polyester, lié à la structure dans son mouvement azimutal.

Son implantation sur le site est définie et les travaux de maçonnerie doivent être achevés au début du mois de juillet.

L'étude générale de l'instrument est achevée : il est composé d'un télescope et d'une optique à trois voies de détection. Le télescope possèdera deux mouvements simultanés pour obtenir le pointage dans la direction de l'observation du champ d'héliostats et le suivi en mouvement horaire. La structure azimutale, en forme de fourche est achevée. Elle est mobile en azimut et reçoit les paliers du mouvement en site. Une table horizontale, recevant le laser et une détection de référence, est liée rigidement à la structure azimutale. Le fût, mobile en site, est en cours d'achèvement. Il reçoit les miroirs primaires et secondaires, et une table support de l'optique des deux voies de détection. L'optique étudiée par J.L. Sans du CNBG (Bordeaux), sous la responsabilité de *P. Espigat*, sera livrée au Laboratoire dans le courant du mois de juin. Le montage et les premiers réglages s'effectueront dans le courant du mois de juillet.

A la fin du mois d'août, deux campagnes de montages et de tests s'effectueront sur le site de Thémis, en parallèle :

1) Le fût et son optique, ainsi que la table et le laser seront installés sur un bâti provisoire, permettant le seul mouvement en site. Les réglages et les tests optiques pourront commencer.

2) La structure azimutale, ainsi que le dôme seront installés à l'intérieur de l'enceinte et sur le pylône. Les motorisations, les capteurs de fin de course et les diverses sécurités pourront être installés et testés.

A la fin septembre, le fût sera installé sur la structure azimutale. Les derniers réglages, tests et l'automatisation des mouvements pourront commencer.

(*F. Lelong, D. Marchand, J.-P. Rény, B. Yoffo*)

10.2. Gammas cosmiques (GLAST)

Une R & D a démarré au Laboratoire : le service de Mécanique réalise pour le courant du mois de juillet un élément de calorimètre multicouches de silicium-plomb. Un module de calorimétrie de ce type étudié et réalisé aux États-Unis a été testé sur un faisceau au CERN. Nous devons étudier et réaliser un autre élément permettant trois angles d'incidence du faisceau. Ce caisson en PVC rainuré pourra recevoir des cartes de détecteurs au silicium et des plaques d'absorbeur en plomb. Ces cartes devront être mobiles pour s'aligner sur les angles d'incidence choisis et des épaisseurs différentes d'absorbeur.

(*D. Marchand*)

10.3. Cosmologie observationnelle (AGAPE)

Le télescope de 55 centimètres du Pic du Midi a été l'objet de plusieurs modifications :

Fin 97 : L'ajout d'un correcteur de champ, d'une roue à filtres et d'une caméra CCD.

Courant 98 : L'automatisation du mouvement en déclinaison, réalisée par un double système d'entraînement, à moteurs pas à pas. L'un est prévu pour assurer une grande vitesse de pointage. L'autre, en intégrant une vis-écrou à friction, est prévu pour assurer la vitesse de pointage. L'entraînement se fait par un bras de correction.

Courant 99 : De même l'automatisation du mouvement horaire a conduit à installer un moteur pas à pas plus performant. Et également, en intégrant une vis-écrou à friction nous pouvons obtenir des vitesses de pointage et de suivi. L'entraînement se fait par l'introduction d'une courroie métallique.

Courant 99 : Pour obtenir un positionnement rigoureux, il a fallu installer des codeurs absolus sur les deux axes, équatorial et de déclinaison.

Les travaux de modernisation du site du Pic du Midi ont eu des contraintes fâcheuses pour mener à bien ces modifications. En effet, dans l'année 1998, de mai à octobre, nous ne pouvions plus accéder à l'instrument. Par la suite et encore actuellement, l'accès est rendu difficile par le fait que nous n'avons pas de téléphérique.

(F. Lelong, D. Marchand, J.-P. Rény)

10.4. Cosmologie observationnelle (ARCHEOPS)

Le cryostat d'étalonnage ARCHEOPS est destiné à l'étalonnage au sol des bolomètres d'une expérience embarquée en ballon stratosphérique. L'objectif consiste à présenter aux bolomètres un rayonnement millimétrique en alternance avec un fond de corps noir à 3K à cette longueur d'onde. Pour ce faire, le cryostat d'étalonnage sera, provisoirement, installé devant le cryostat détecteur (photomètre réalisé par le CRTBT de Grenoble).

En juillet et août 1998, une étude a été réalisée, avec l'aide de l'IPN d'Orsay pour la cryogénie, notamment avec Stéphane Buhler. Le dossier technique a été élaboré avec le logiciel de CAO Autocad. La réalisation des pièces mécaniques ont été sous-traitées aux établissements Physiméca. L'assemblage et l'instrumentation des différents éléments du cryostat a eu lieu à l'IPN d'Orsay de décembre à janvier. En février, nous avons procédé à quatre essais cryogéniques à l'hélium liquide dans différentes configurations pour optimiser ses performances. En mars, nous avons effectué deux essais supplémentaires dans nos locaux qui se sont avérés concluants.

Ce cryostat fonctionne à l'hélium liquide. Il est constitué :

- d'un corps noir,
- d'un réservoir d'hélium en inox cylindrique de sept litres,
- d'un écran thermique en cuivre réfrigéré à 80 K par les vapeurs d'He froides circulant dans un serpentín brasé sur le disque supérieur,
- d'une plaque de réchauffage en cuivre fixée sur la partie supérieure,
- d'une enceinte à vide.

La partie inférieure comporte une ouverture de positionnement vers une vanne à plateau. La partie supérieure comporte toutes les alimentations en He, dégazage, niveau d'He, ainsi que l'alimentation et les mesures électriques.

Au mois de mai, ce cryostat d'étalonnage a été testé dans sa configuration finale au CRTBT de Grenoble, monté devant la fenêtre d'entrée du photomètre, permettant de tester les performances de ce dernier. Il doit être transporté à la mi-juin sur le premier site d'envol : Trapani (Sicile).

(P. Guillouët, B. Yoffo)

10.5. Cosmologie observationnelle (PLANCK)

Notre participation dans cette collaboration internationale, sera la réalisation, avec l'IAS (Orsay), d'un banc de calibration pour le détecteur embarqué sur le satellite PLANCK. Ce banc de calibration sera testé dans un milieu cryogénique à 2 K, dans l'enceinte Saturne réalisée par l'IPN pour les tests d'Iso. Des modifications minimales devront y être apportées pour loger l'encombrement du banc.

Nous possédons un ensemble de plans (2D) de cette enceinte cryogénique de l'IPN d'Orsay et une maquette (3D) sous CAO Euclid. La première approche est de réaliser sous Euclid une maquette (3D) de l'ensemble du banc de calibration et de l'intégrer dans celle de l'enceinte. Ceci permettra de faire le meilleur choix de son orientation, de minimiser ses dimensions et d'obtenir le minimum de modifications de l'enceinte.

La définition optique du banc est en cours d'étude et de tests. La définition géométrique des composants et le choix des matériaux devront également être étudiés pour optimiser le comportement thermique de cet ensemble cryogénique.

(P. Guillouët, B. Yoffo)

10.6. Neutrinos (Chooz)

Le démantèlement de l'expérience est en cours d'achèvement. Notre participation devait rester minimale, et nous avons sous-traité le maximum d'opérations.

Les opérations en sous-traitance ont été : l'enlèvement des soixante-quatre tonnes de blindages et du bungalow d'électronique, la dépose des lignes de fluides et prochainement l'enlèvement des bâches de stockage.

La vidange du détecteur de ces fluides scintillants était une opération trop délicate pour être confiée à une autre équipe que celle qui s'est chargée du premier remplissage, puis d'une vidange partielle, et enfin du second remplissage. Cette opération s'est effectuée en deux temps : une première vidange s'est faite vers les bâches de stockage ; ces bâches ont été ensuite vidangées par fûts, mis à la disposition des repreneurs.

D'autres interventions ont été nécessaires afin de récupérer l'essentiel du matériel pouvant soit être utile au Laboratoire ou soit être mis à la disposition des autres laboratoires du CNRS.

(*P. Guillouët, D. Monnot, P. Salin*).

10.7. Neutrinos (HELLAZ)

Salle blanche :

Nous avons décrit plus haut la méthode (Cf. sect.7) qui permet de détecter de faibles concentrations d'uranium/thorium par le captage du radon de leurs chaînes de désintégration. La mise en œuvre de ce travail est délicate et nécessite notamment une propreté particulière.

Ces exigences de propreté sont également nécessaires pour la réalisation des détecteurs utilisés pour HELLAZ, les chambres MICROMEGAS. Pour répondre plus ou moins à ces demandes, le Laboratoire a entrepris la remise en état de la salle propre anciennement utilisée lors des travaux de R & D sur les liquides organiques aux alentours de la température ambiante dans la perspective de détecteurs calorimétriques pour SSC et LHC. Les travaux suivants ont été réalisés :

- Mise en place de deux flux en classe 100 de 1500 m³/h
- Installation d'une climatisation en recirculation et filtrée.
- Construction d'un pré-sas d'habillage.
- Remise aux normes de l'installation électrique.
- Peinture des locaux.

Au cours de cette remise en conformité, le service intérieur a été très fortement impliqué, ainsi que *P. Guillouët et P. Salin*.

Détecteurs :

Des études systématiques ont été menées sur les composants des traversées de cloisons étanches et tenant à haute pression. Pour ce faire de nombreux essais, bancs de tests et mesures ont été réalisés.

D'autre part, l'utilisation de plusieurs détecteurs a conduit à l'étude et à la réalisation de plusieurs enceintes et porte-détecteurs, utilisant les résultats des essais précédents. La réalisation d'électrodes de détection du type « MICROMEGAS » s'est généralisée.

Un dispositif de manutention a été réalisé avec des éléments existants au Laboratoire, et est utilisé dans les interventions sur l'enceinte primitive.

Hautes pressions, basses températures :

Par ailleurs, une étude plus spécifique s'est portée sur le problème des traversées de cloisons avec une différence de pression importante, avec une bonne isolation électrique, à la température de l'azote liquide, qui est une des options possibles pour le fonctionnement d'HELLAZ.

(A. Diaczek, M. Pairat)

11. Services généraux

Sans l'action efficace et discrète des services généraux du Laboratoire, celui-ci serait dans l'incapacité de fonctionner. La direction (P. Bareyre et M. Froissart) se fait un plaisir de citer :

Secrétariat administratif et scientifique :

C. Bréon-Hussenot, D. Cerverra, H. Le Bihan, C. Masson, M. Piochaud, S. Poulain.

Bibliothèque et Documentation :

J. Come-Garry, J.-C. Couillard, S. Lantz.

Service intérieur :

H. Ahamada, B. Coppolani, E. Demange, J. Le Fur, S. Néchal, J.-A. Yoro.

Sécurité :

O. Sokolsky

12. Ouverture du Laboratoire vers l'extérieur

12.1. Participation à des conférences

Santa-Fe (États-Unis) : 5th International Symposium on Weak and Electromagnetic Interactions in Nuclei, WEIN'98 — 14-19/6/98 — A. de Bellefon.

Paris : Journées Neutrino au LPNHE — 22 et 23/6/98 — T. Ypsilantis.

Takayama : Neutrino 98 — 4 au 9/6/98 — P. Gorodetzky et C. Tao.

Tokyo (Japon) : Symposium à l'Université Métropolitaine de Tokyo — 11-12/6/98 — P. Gorodetzky.

Genève (Suisse) : Workshop « Cosmology and Particle Physics — CAPP 98 » — 8-12/6/98 — A. Kim.

Santander (Espagne) : Workshop « The cosmic microwave Background and the Planck mission » — 22-26/6/98 — J. Kaplan.

Vancouver (Canada) : ICHEP'98 — 22-30/7/98 — *J.-N. Capdevielle, C. Gehsqière, P. Espigat, T. Patzak.*

Alcala de Henares (Espagne) : 16th European Cosmic Ray Symposium — 20-24/7/98 — *J.-N. Capdevielle*, membre du Comité international, *F. Münz.*

Prague (Tchéquie) : Conférence JENAM 98 — 8-12/9/98 — *M. Punch.*

L'Aquila (Italie) : International School of Space Science « 3K Cosmology from Space » — 2-12/9/98 — *B. Revenu.*

Amsterdam (Pays-Bas) : NOW'98 (Nikhef) — 6-9/9/98 — *A. de Bellefon, P. Gorodetzky.*

Batavia — Chicago (États-Unis) : HEPiX meeting (FNAL) — 26-28/8/98 — et Conférence CHEP 98 — 31/8-4/9/98 — *L. Guglielmi.*

Vienne (Autriche) : ESPACE Workshop — 8-11/10/98 — *A. de Bellefon.*

Naples (Italie) : Journées VST à l'Observatoire de Capodimonte — 7-10/9/98 — *Y. Giraud-Héraud.*

Rome (Italie) : International Conference on « 3K Cosmology » — 5-10/10/98 — *J. Kaplan, J. Delabrouille, B. Revenu.*

Cambridge (États-Unis) : Workshop VERITAS on TeV Astrophysics of Extragalactic Sources — 22-26/10/98 — *M. Punch.*

Ein-Gedi (Israël) : Conférence RICH 98 — 14-21/11/98 — *J.-C. Vanel, J. Séguinot, P. Gorodetzky.*

Grasse (France) : Rencontres « Jeunes Chercheurs » 1998 — 13-18/12/98 — *Y. Le Du.*

Paris (France) : 19th Texas Symposium on relativistic Astrophysics — 14-18/12/98 — *A. Bouquet, A. Djannati-Ataï, Y. Giraud-Héraud, J.-C. Hamilton, J. Kaplan, M. Punch, B. Revenu.*

Le Cap (Afrique du Sud) : « WIN 99 » 17th International Workshop on weak interactions and neutrinos — 25-30/1/99 — *A. de Bellefon.*

Venise (Italie) : 8th International Workshop on Neutrino Telescopes — 23-26/2/99 — *T. Patzak.*

Irvine (États-Unis) : Frederick Reines Symposium — 13/3/99 — *P. Gorodetzky.*

Anaheim (États-Unis) : ACS Meetings — 21-23/3/99 — *P. Gorodetzky.*

Sodankylä (Finlande) : First Arctic Workshop on Cosmic Ray muons — 24-29/4/99 — *J.-N. Capdevielle.*

Carcassonne (France) : Colloque d'Astronomie « Rencontres de Carcassonne » — 13-15/5/99 — *A. Bouquet.*

12.2. Collaborations

Les nombreuses collaborations que nous entretenons, ainsi que les expériences hors-site, occasionnent de la part des chercheurs et des ITA un grand nombre de déplacements :

THEMISTOCLE, CAT, CELESTE : 18 à l'étranger, 61 en France, principalement à THEMIS.

HELLAZ : 23 à l'étranger, 22 en France.

CHOOZ : 37 à l'étranger — principalement au Laboratoire du Gran Sasso en Italie —, 69 sur le site de CHOOZ.

AUGER : 8 à l'étranger (Brésil, Mexique), 5 en France.

PLANCK et AGAPE : 22 à l'étranger, 103 en France, en majorité à l'Observatoire du Pic du Midi.

— sans compter les 42 déplacements divers vers le CERN, pour les expériences en voie d'achèvement, pour la collaboration sur HELLAZ, et pour divers autres contacts scientifiques.

Citons encore à ce propos

- Les activités de collaboration de *J.-N. Capdevielle* au sujet du programme CORSIKA de simulation des grandes gerbes, dont il est co-auteur : Łodz (2/12/97-10/1/98), Karlsruhe (9-14/2/98), Yerivan (14-25/4/98), Moscou (26-28/4/98), Simulations CORSIKA au CERN 15-31/5/99, Cours COSMOLEP (1^{er} semestre 1999).
- les réunions de collaboration d'AUGER :
 - * Itacuruca, Brésil (18-23 mai 98) :
 - *C. Le Gall* : « EAS simulation through pre-computed showers »
 - *C. Le Gall* : « Should Auger be a square array ? »
 - *J.-M. Brunet* : « Local Station acquisition status : hardware & software »
 - *G. Tristram* : « GPS card status »
 - * Preliminary Design Review — Collège de France, Paris, 12/99
 - *L. Guglielmi* : « Local Station acquisition status : hardware »
 - *J.-M. Brunet* : « Local Station acquisition status : software »
 - * Réunion Auger Collab. — Morelia, Mexique, 01/99
 - *L. Guglielmi* : « Local Station acquisition status : hardware »
 - *J.-M. Brunet* : « Local Station acquisition status : software »
- Les activités du groupe GDR-SUSY : à l'origine de 10 déplacements en France.

12.3. Enseignements

M. Abbès : « Enseignement sur les micro-processeurs DSP », Université de Paris VI (30 h).

C. Bréon : Co-animation de stages « Connaître le CNRS pour agir », pour le personnel du CNRS.

Préparation des ITA aux concours internes et externes du CNRS (20 h).

J.-N. Capdevielle : Cours de 2^e cycle en Physique Nucléaire et Physique des Particules, TD de Maîtrise et examens à l'Université de Perpignan (1992-99) ;

dans le cadre de ces cours, encadrement à 50 % des travaux d'un stagiaire prédoctoral (mai-juin 1998), en vue d'applications au calcul des grandes gerbes (Complexe THEMIS).

Collaboration avec K. Sanosyan en vue de la simulation des gerbes géantes d'AUGER et participation à la direction de thèse de *C. Le Gall*.

A. Diaczek : École « Technologie des détecteurs », cours à l'usage des techniciens de l'IN2P3 (La Londe les Maures, septembre 1998).

C. Le Gall :

— Moniteur en 1^{re} année de DEUG à l'université de Paris 7 (64 h).

— Séminaire : AUGER, a detector for the highest energy cosmic rays — Cracovie (Pologne) — 20/11/98

— Séminaire : Simulation de gerbes atmosphériques et définition de l'acquisition des stations locales pour l'expérience Pierre Auger

* CPPM, Marseille — 1/3/99

* CENBG, Bordeaux — 26/3/99

B. Revenu : Interrogateur en préparatoire Math. spé. P'.

12.4. Fonctions d'intérêt scientifique général

A. de Bellefon : participe à la rédaction d'un ouvrage collectif (Belin et CNRS-Éditions) sur la physique des particules ;

est membre du Comité d'Organisation de TAUP 99, qui aura lieu au Collège de France du 6 au 10/9/99 ;

il est aussi le correspondant de communication du Laboratoire.

C. Bréon-Hussenot : est membre du Comité d'Organisation de TAUP 99, qui aura lieu au Collège de France du 6 au 10/9/99 ;

J.-N. Capdevielle : a participé à l'organisation du 10^e symposium International des Interactions Nucléaires Cosmiques (Gran Sasso, 1/6/98),

du 16^e symposium Européen des Rayons Cosmiques (Madrid, juillet 1998).

Referee auprès de Journal of Physics G.

J. Dolbeau : élu à la commission de spécialistes pour les disciplines scientifiques du Collège de France (5/1992)

élu au Comité National de la Recherche Scientifique (Section 03) et au Conseil de Direction de l'IN2P3 (6/1995)

P. Frenkiel : Membre du CNU, section 29

M. Froissart : exerce des activités de *referee* auprès de *Physical Review* est président du Comité d'organisation de la conférence TAUP 99, dont font partie également *A. de Bellefon* et *C. Bréon-Hussenot*.

Y. Giraud-Héraud : membre de la Commission des spécialistes de Paris 7 de la 29^e section du CNU.

Secrétaire du bureau du Programme National de Cosmologie.

Conseiller scientifique pour les Astroparticules auprès du Chargé de Communication de l'IN2P3 (*G. Edelheit*).

P. Gorodetzky : est consultant auprès de l'équipe de RHIC à Brookhaven (US) pour la construction de calorimètres à neutrons destinés à calibrer la luminosité à chaque intersection.

T. Patzak : a exposé devant des élèves de terminale du Lycée St-Dominique de Neuilly s/Seine les développements actuels en physique des particules (5/99).

D. Poutot : intervient en tant qu'expert en réseau informatique auprès du Laboratoire Kastler-Brossel de l'École Normale Supérieure.

C. Tao : membre du comité des Sages du SPP au DAPNIA, CEA-Saclay.

Referee des projets de conférences européennes.

12.5. L'effort de formation au Laboratoire

12.5.1. Les efforts généraux de formation

L'objectif du Laboratoire étant de fournir de la bonne physique, appuyée sur des créneaux techniques porteurs, sans pour autant avoir recours à des recrutements dépassant le strict nécessaire, il lui est plus nécessaire que jamais de recourir à la formation professionnelle et à la reconversion de ses agents.

Il a déjà un actif tout à fait honorable dans ce domaine, étant, par exemple, sur la Délégation Régionale de Paris B, une des formations associées au CNRS qui a le plus la pratique de la formation, pour progression professionnelle ou pour reconversion.

La formation s'intègre naturellement dans la programmation scientifique du Laboratoire. La grande mutation qui concerne tous les ITA, quelle que soit leur spécialité, est évidemment le recours croissant à l'informatique, à tous les niveaux. On distinguera cependant la formation des utilisateurs de l'informatique et celle des informaticiens eux-mêmes, qui représentent des niveaux et des objectifs bien différents.

12.5.2. Séminaire de réflexion du Laboratoire à Saint-Malo

Le Laboratoire a réuni 59 membres dans un séminaire fermé à Saint-Malo du 30/11 au 2/12/98 pour réfléchir et discuter de son orientation et de ses perspectives, dans le cadre actuellement mouvant de ses institutions de tutelle et des institutions avec lesquelles il peut être appelé à renforcer des liens (Universités, CEA).

Le séminaire était largement pondéré en faveur des 3 axes de recherche majeurs du Laboratoire : cosmologie observationnelle, neutrinos, cosmiques, tant dans leur activité présente que dans leurs développements à venir. Cependant, les perspectives transversales n'ont pas été oubliées : services techniques — bilan et prospectives — communication, organisation des stages et thèses, administration et documentation.

Les journées se sont conclues par une table ronde très libre, et ont fait l'objet d'un volumineux compte-rendu reprenant tous les transparents illustrant les exposés.

12.5.3. Écoles thématiques et séminaires de l'IN2P3 et du CNRS

Ils ont concerné 10 personnes, qui ont participé à des écoles de 3 à 10 jours sur les techniques de base des détecteurs de particules, l'apprentissage des outils informatiques du CCIN2P3, les techniques administratives, à des séminaires sur l'IAO/CAO en électronique mais aussi à une formation à la Conduite de projet scientifique.

- École pour les Administratifs — Cargèse — juin 98 : *H. Le Bihan*.
- Séminaires pour les Webmasters — La Londe les Maures — Juin 98 : *P. Frenkiel, Cl. Poutot*.
- Les Journées de prospective de l'IN2P3 — Giens — 22/25/9/98 : ont rassemblé 200 chercheurs et ingénieurs de recherche, dont 21 agents du Laboratoire.
- Formation à l'encadrement pour les responsables d'équipes -sept.-oct./98 : *J.-J. Jaeger*.
- Formation des Présidents de jurys de concours, oct. 98 : *J.-J. Jaeger*.
- École de technologie — Cargèse — oct. 98 : *B. Yoffo, P. Guillouët*.
- Journées techniques informatiques — La Londe les Maures — 6-8/4/99 : *L. Guglielmi, D. Poutot, D. Vallée*.
- École d'informatique franco-tunisienne — Tozeur — 4-9/5/99 : *A. Faye, C. Poutot*.

12.5.4. Formations individuelles

Soutenant l'effort du CNRS et de l'IN2P3, le Collège de France a adopté à son tour une politique volontariste de formation pour ses personnels, qui recueille un

succès grandissant. Pour l'ensemble du Laboratoire et de ses personnels, les formations se répartissent ainsi :

Informatique : En première ligne avec vingt-six stages de 1 à 8 jours concernant 17 agents de tous niveaux. Les sujets vont de l'initiation à un logiciel directement utilisable, aux séminaires d'ouverture sur l'avenir (systèmes experts, réseaux, génie logiciel).

Le domaine est en évolution constante : disparition des gros calculateurs universels, remplacés par des « fermes » spécialisées de stations, place grandissante prise par les réseaux.

Amenés à faire à leur tour la formation des utilisateurs, les informaticiens (Cf. sect. 6) ont besoin tant des formations de fond par des professionnels bien expérimentés, que de la participation à des séminaires ou colloques, tels que la conférence HEPIX à Fermilab (26-28/8/98) et la conférence CHEP98 (31/8-4/9/98).

Électronique : Cette année a connu des formations de nature plus fondamentale que pratique : notamment la migration vers le langage DFI (Cadence).

Mécanique : Les membres du service sont formés aux techniques nouvelles : CAO légère sur micro-informatique et lourde (EUCLID), ultra-purification, enceintes propres, technique des détecteurs, cryogénie, conduite de projets (IN2P3), etc.

Bibliothèque — Documentation : Avec l'extension de l'utilisation de Www et l'adoption par les bibliothèques d'une gestion informatisée, une mutation profonde se poursuit dans ces domaines. L'IN2P3 continue à organiser des écoles thématiques spécifiques et des séminaires pour « Créer et Gérer un serveur Www », ou pour faciliter les évolutions « Séminaire des webmasters ».

Administration : Une école thématique organisée par l'IN2P3 pour les administratifs de niveau SAR/T/AI a reçu un accueil enthousiaste et une troisième secrétaire-gestionnaire a pu y participer. En outre, pour répondre à la demande du CNRS, la gestion des crédits se fait maintenant avec le logiciel XLAB ; des formations ont été suivies pour pouvoir utiliser ce logiciel, ainsi que LABINTEL, logiciel de suivi des carrières des agents, également produit par la DSI du CNRS.

Service Intérieur : Ses agents ne sont pas oubliés : « Peinture et revêtement », « Formation aux premiers secours » (initiation et perfectionnement), « Nettoyage des salles et du matériel informatique ».

Divers : Le Laboratoire encourage également des stages sans finalité professionnelle directe comme ceux de préparation aux concours du CNRS, ou ceux destinés à une formation d'ouverture comme : « La radioprotection », « Le traitement du bruit et de ses nuisances », « L'expression et la communication », « Le passage à l'Euro », « Le serveur communautaire CORDIS », organisation de l'Enseignement Supérieur qui a aussi intéressé d'autres agents.

Il est intéressant de souligner que presque tous les services sont concernés et que, en 1998/99, 30 agents dont 4 chercheurs ont suivi à l'extérieur 150 jours de stage ou école, pour un total de plus de 1100 heures, nombres à peu près constants malgré une diminution sensible de l'effectif global.

12.6. Activités diverses

Sous l'impulsion du Directeur de l'IN2P3 un groupe de travail s'est constitué à l'IN2P3 et a préparé 5 conférences sur des thèmes de physique « en marche ». Ces conférences sont destinées à être présentées massivement dans le plus grand nombre de lycées de France avec le soutien du CNRS et du Ministère de l'éducation nationale.

A. de Bellefon participe à ce groupe de travail dénommé NEPAL, et a donné 5 conférences dans les lycées parisiens ; il a aussi animé une réunion générale de l'Union des Physiciens (UDP) au lycée Charlemagne.

Il assure également la coordination française du groupe de travail européen pour la réalisation d'un CD-ROM sur la physique des particules et les problèmes nucléaires en astrophysique (ESPACE). Une réunion sera organisée au Collège de France mi-juin 99 sur ce sujet.

J. Dolbeau a animé une conférence sur le LEP auprès des élèves de terminale du Lycée privé Ste Marie d'Antony.

G. Tristram s'est rendu au Lycée Maurice Ravel pour y donner une conférence sur le LEP.

12.7. Accueil de chercheurs

12.7.1 Stagiaires

<i>D. Altmann</i> :	CHOOZ,	14/4-19/6/98	(<i>P. Salin</i>)
<i>A. Amblard</i> :	AGAPE,	1/5-30/6/98	(<i>Y. Giraud-Héraud</i>)
<i>F. Baron</i> :	Cosmologie	10/5/98-31/7/99	(<i>J. Kaplan</i>)
<i>T. Beau</i> :	CHOOZ	4/5/99-31/8/99	(<i>H. de Kerret</i>)
<i>S. Calchi-Novati</i> :	Cosmologie	3/5/99-31/12/99	(<i>Y. Giraud-Héraud</i>)
<i>J.-P. Champeaux</i> :	AGAPE	1/5-10/7/98	(<i>Y. Giraud-Héraud</i>)
<i>T. Charlotte</i> :	Cosmologie	1/6/98-31/7/98	(<i>A. Bouquet</i>)
<i>R. Chouard</i> :	Cosmologie	25/5/98-30/6/98	(<i>J.-C. Vanel</i>)
<i>O. Dadoun</i> :	HELLAZ	1/6/98-15/7/98	(<i>P. Gorodetzky</i>)
<i>O. Danard</i> :	HELLAZ	1/6/98-15/7/98	(<i>P. Gorodetzky</i>)
<i>J.-M. Drygas</i> :	CHOOZ	19/4/99-25/6/99	(<i>P. Salin</i>)
<i>A. Feinstein</i> :	Cosmologie	1/6/98-10/7/98	(<i>Y. Giraud-Héraud</i>)
<i>N. Iro</i> :	Cosmologie	10/5/99-31/7/99	(<i>J. Kaplan</i>)
<i>A. Joinet</i> :	HELLAZ	10/5/99-1/8/99	(<i>A. de Bellefon</i>)

<i>B. Khelifi</i> :	CAT	1/4/99-31/7/99	(<i>M. Punch</i>)
<i>M. Marcatel</i> :	HELLAZ	19/4/99-25/6/99	(<i>P. Salin</i>)
<i>K. Medjoubi</i> :	HELLAZ	30/3/98-31/7/98	(<i>P. Gorodetzky</i>)
<i>A. Noël</i> :	HELLAZ	1/6/98-26/6/98	(<i>P. Gorodetzky</i>)
<i>G. Olry</i> :	HELLAZ	1/6/98-15/7/98	(<i>P. Gorodetzky</i>)
<i>S. Paulin-Henriksson</i> :	Cosmologie	1/3/99-31/5/99	(<i>J. Delabrouille</i>)
<i>A. Peterfalvi</i> :	Cosmologie	1/6/98-31/7/98	(<i>A. Bouquet</i>)
<i>N. Pheng</i> :	CHOOZ	14/4-19/6/98	(<i>P. Salin</i>)
<i>N. Pochat-Pochatoux</i> :	CHOOZ	1/5/99-3/8/99	(<i>H. de Kerret</i>)
<i>S. Rangan</i> :	CAT	26/5/99-18/6/99	(<i>A. Djannati-Ataï</i>)
<i>R. Terrier</i> :	CAT	4/5/99-13/8/99	(<i>A. Djannati-Ataï</i>)
<i>G. Thiney</i> :	CAT-CELESTE	1/6/98-14/7/98	(<i>P. Espigat</i>)

12.7.2. Thésards

<i>N. Gagliardi</i> :	HELLAZ	Thèse soutenue le 27/5/99
<i>J.-C. Hamilton</i> :	Supernovæ Ia	Thèse soutenue le 14/4/99
<i>Y. Le Du</i> :	AGAPE	
<i>C. Le Gall</i> :	Auger	Thèse soutenue le 14/4/99
<i>F. Münz</i> :	CAT-CELESTE	
<i>B. Revenu</i> :	Cosmologie observationnelle	

12.7.3. Post-Doctorants

<i>F. Bauer</i> :	HELLAZ	depuis le 1/12/97
<i>B. Giebels</i> :	CAT	1/10/98 au 30/5/99
<i>A. Kim</i> :	Cosmologie	depuis le 1/11/97
<i>T. Patzak</i> :	HELLAZ	le 1/7/96.

12.7.4. Savants visiteurs

<i>K. Sanosyan</i> :	AUGER	11/5-13/7/98
<i>V. P. Martemyanov</i> :	CHOOZ	7-11/11/98 et 5-7/3/99
<i>M. Matraszek</i> :	CAT	7-17/12/98
<i>J. Szabelski</i> :	CAT	7-17/12/98
<i>T. Wibig</i> :	CAT	7-17/12/98
<i>M. Skorokhvatov</i> :	CHOOZ	14-20/12/98 et 5-7/3/99
<i>J. Méndez-Alvarez</i> :	Cosmologie	20/1/-10/2/99
<i>G. Fogli</i> :	HELLAZ	3-7/2/99
<i>S. Sukhotine</i> :	CHOOZ	14-10/3/99
<i>P. Gondolo</i> :	AGAPE	29/3-1/4/99
<i>J. Bahcall</i> :	HELLAZ	16/4/99
<i>J. Schneps</i> :	HELLAZ	19-27/4/99
<i>S. Capozziello</i> :	AGAPE	29/4-5/6/99
<i>G. Iovane</i> :	AGAPE	29/4-5/6/99

<i>C. Rubano</i> :	AGAPE	29/4-5/6/99
<i>A. Marino</i> :	AGAPE	29/4-5/6/99
<i>S. Droz</i> :	AGAPE	29/4-5/6/99

13. Séminaires du Laboratoire

Martin Lemoine : Département d'Astrophysique Relativiste et de Cosmologie, CNRS, Observatoire de Paris-Meudon (Jeudi 1/10/98)
Rayonnement cosmique de ultra-haute énergie et champs magnétiques extragalactiques

Jean-Noël Capdevielle: PCC, Collège de France (Jeudi 8/10/98)
Interprétation des gerbes cosmiques en fonction des apports récents de la physique des Hautes Énergies

Enrico Predazzi : Université de Turin et INFN, Turin (Lundi 12/10/98)
Diffraction : past (mostly) and a little bit of present and future

Reynald Pain : LPNHE, Paris (Jeudi 12/11/98)
Mesure des paramètres cosmologiques à l'aide des supernovæ

Subir Sarkar : Université d'Oxford (Mardi 8/12/98)
Neutrinos from meV to ZeV

Venyamin Berezhinski : Laboratoire National du Gran Sasso (Lundi 21/12/98)
Ultra-High Energy Cosmic Rays as a signal from post-inflationary universe

Gianluigi Fogli : Bari (Jeudi 4/2/99)
Neutrino Oscillations : a Phenomenological Overview

Ignatios Antoniadis : CPhT, École Polytechnique (Jeudi 11/2/99)
Dimensions nouvelles et Physique des cordes à l'échelle du TeV

Günter Sigl : Univ. of Chicago — DARC, Observatoire Paris/Meudon — CNRS (Jeudi 11/3/99)
Probing Particle Physics and Astrophysics with Extragalactic Cosmic-Rays, Gamma-Rays and Neutrinos

Benoît Revenu : PCC, Collège de France (Mardi 6/4/99)
Mesure de la polarisation du rayonnement de fond à 2.7 K (CMB) avec le satellite Planck : optimisation instrumentale et traitement du bruit basse fréquence

John N. Bahcall : Institute for Advanced Study, Princeton (Jeudi 8/4/99)
Solar Neutrinos : where we are
Ceci constitue la première de deux conférences invitées par le Collège de France

John N. Bahcall : Institute for Advanced Study, Princeton (Jeudi 15/4/99)
Solar Neutrinos : where we are going
Deuxième conférence invitée.

Daniel Denegri : CE Saclay/Dapnia (Jeudi 22/4/99)

L'expérience CMS et les possibilités de recherche de la matière noire supersymétrique au LHC

Ericourgoulhon : DARC, Observatoire Paris/Meudon (Jeudi 20/5/99)

Astrophysique des ondes gravitationnelles

14. Publications du Laboratoire

14.1. Cosmologie observationnelle

PCC 99 T1 Recherche automatisée de supernovæ à des distances intermédiaires et analyse photométrique de leurs courbes de lumière.

J.-C. Hamilton.

Thèse de Doctorat soutenue le 14 Avril 1999.

PCC 98 63 L'AGAPE des MACHOS.

Y. Le Du.

Contribution aux Rencontres Jeunes Chercheurs, France, Décembre 1998.

PCC 98 62 600 000 ans après le Big Bang : comment la gravitation a pris le pas...

B. Revenu.

Science & Vie (hors série), N° 205, décembre 1998, 100-108.

PCC 98 61 Quelle géométrie pour l'univers ?

J.-C. Hamilton.

Science & Vie (hors série), N° 205, décembre 1998, 92-98.

PCC 98 60 Les premières applications de la relativité générale.

A. Bouquet

Science & Vie (hors série), No 205, décembre 1998, 84-91.

PCC 98 59 Deux siècles après Newton, Einstein ...

A. Bouquet.

Science & Vie (hors série), No 205, décembre 1998, 74-83.

PCC 98 48 Microlensing towards the Small Magellanic Cloud — EROS2 two-year analysis.

C. Afonso et al. (F. Bauer, P. Bareyre, A. Bouquet, J.-C. Hamilton, A. Kim)

Astronomy and Astrophysics, **344** (1999) L63-66.

PCC 98 42/Conf Destriping polarised data.

B. Revenu et al., (J. Delabrouille, J. Kaplan).

Présenté au Workshop : The cosmic Microwave Background and the Planck mission.

PCC 98 30S Distinction des types de galaxies en fonction de leur couleur dans le cadre de la recherche de supernovæ de l'expérience EROS2.

T. Charlotte.

Stage sous la direction de *J.-C. Hamilton.*

PCC 98 29S Ajout d'événements de microlentille gravitationnelle simulés sur des données réelles de la collaboration AGAPE.

A. Feinstein et C. Hadjidakis.

Stage sous la direction de *Y. Giraud-Héraud.*

PCC 98 28S Détermination du type des galaxies par la couleur dans le cadre de la recherche de supernovæ de l'expérience EROS2.

A. Peterfalvi.

Stage sous la direction de *J.-C. Hamilton.*

PCC 98 26 Measuring the thickness of the Magellanic Cloud Cepheid population : implications for microlensing.

D. Graff et al., (F. Bauer, P. Bareyre, A. Bouquet, J.-C. Hamilton).

The EROS2 collaboration.

Soumis à *Astronomy and Astrophysics.*

PCC 98 25 EROS2 intensive observation of the caustic crossing of microlensing event MACHO SMC-98-1.

C. Afonso et al., (P. Bareyre, F. Bauer, A. Bouquet, J.-C. Hamilton, A. Kim).

The EROS collaboration.

Astronomy and Astrophysics **337** (1998) L17.

PCC 98 24 A slope variation in the Period-Luminosity relation for short period SMC Cepheids.

F. Bauer et al., (P. Bareyre, A. Bouquet, J.-C. Hamilton) — the EROS collaboration.

Soumis à *Astronomy and Astrophysics.*

PCC 98 23 Agape Z1 : a large amplification microlensing event or an odd variable star towards the inner bulge of M31.

R. Ansari et al. (A. Bouquet, C. Ghesquière, Y. Giraud-Héraud, J. Kaplan, A. Kim, Y. Le Du, A.-L. Melchior).

Astronomy and Astrophysics **344** (1999) L49-L52.

PCC 98 22 Optimised polarimeter configurations for measuring the Stokes parameters of the Cosmic Microwave Background Radiation.

F. Couchot et al. (J. Kaplan, B. Revenu).

Soumis à *Astronomy and Astrophysics.*

PCC 98 21 AGAPEROS : Searches for microlensing in the LMC with the Pixel Method.

II. Selection of possible microlensing events.

A.-L. Melchior et al., (P. Bareyre, F. Bauer, A. Bouquet, Y. Giraud-Héraud, J. Kaplan).

Astronomy and Astrophysics **339** (1998) 658.

PCC 98 20S Recherche d'événements courts de microlentille gravitationnelle sur les étoiles non résolues de la galaxie d'Andromède dans les données d'AGAPE.

A. Amblard et J.-P. Champeaux.

Stage sous la direction de *Y. Giraud-Héraud.*

14.2. Rayonnements cosmiques

PCC 99 T2 Simulation de gerbes atmosphériques et définition de l'acquisition des stations locales pour l'expérience Pierre Auger.

C. Le Gall.

Thèse de Doctorat soutenue le 15 Avril 1999.

PCC 98 55 Local station acquisition overview — Version 2.

J.-M. Brunet, L. Guglielmi, C. Le Gall, G. Tristram.

Note Auger GAP-98-054.

PCC 98 54 The KASCADE experiment.

G. Schatz et al., J.-N. Capdevielle, KASCADE Coll.

Nuclear Physics B (Proc. Suppl.) **60B** (1998) 151-160.

PCC 98 53/Conf Negative muon charge excess in cosmic showers initiated by neutrons.

J.-N. Capdevielle, Y. Muraki.

ICHEP'98 Vancouver, Canada, 23-29 Juillet 1998.

PCC 98 43 L'augmentation de l'irradiation cosmique des régions équatoriales aux régions polaires.

J.N. Capdevielle.

Mondes et Cultures ; Comptes Rendus Trimestriels des Séances de l'Académie des Sciences d'Outre-Mer, **383**.

PCC 98 41/Conf Spectrum of TeV gamma-rays from the Crab Nebula by the CAT Cherenkov Imaging Telescope.

A. Barrau et al., (P. Espigat, C. Ghesquière, S. Le Bohec, F. Münz, M. Punch).

Présenté au 16^e Symposium européen sur les rayons cosmiques.

Alcala de Henares, Espagne, 20-24 Juillet 1998.

PCC 98 40 Prototype tests for the CELESTE solar array gamma-ray telescope.

B. Giebels et al., (P. Espigat, C. Ghesquière, M. Punch).

NIM **A412** (1998) 329-341.

PCC 98 35/Conf *J.-N. Capdevielle.*

ISVHECRI Gran Sasso, Italie, 11-20 Juillet 1998.

Inelasticity enhancement in the knee region.

Nucl. Phys. **B75A** (1999) 278

Coplanar emission of high-energy particles (avec S.A. Slavatinsky), *ibid.* p. 15

PCC 98 19S Modélisation d'un signal Lidar dans le cadre du projet CELESTE.

G. Thiney.

Stage sous la direction de *P. Espigat.*

14.3. HELLAZ

PCC 99 T3 Développement et mise au point du détecteur HELLAZ-1 : détection individuelle des électrons d'ionisation issus d'une trace (élaboration du projet HELLAZ pour la détection des neutrinos solaires).

N. Gagliardi.

Thèse de Doctorat soutenue le 27 Mai 1999.

PCC 98 34/Conf The HELLAZ solar neutrino experiment — the measurement of the spectrum of ν_{pp} and ν_{Be} .

T. Patzak, on behalf of the HELLAZ collaboration.

ICHEP'98 Vancouver, Canada, 23-29 Juillet 1998.

PCC 98 32S Expérience HELLAZ :

Détection des neutrinos solaires et reconstitution de leur spectre en énergie. Présentation et état du R & D.

(*O. Dadoun, G. Olry, O. Danard*).

Rapport de stage sous la direction de *P. Gorodetsky*.

PCC 98 31S Réalisation d'un programme d'acquisition et analyse de signaux ultra-rapides pour HELLAZ.

K. Medjoubi.

Stage sous la direction de *P. Gorodetsky*.

PCC 98 18S Projet HELLAZ : Étude d'un système de mesure de niveau.

D. Altmann.

Stage sous la direction de *P. Salin*.

PCC 98 17S Conception d'une carte-mère pour le projet HELLAZ.

N. Pheng.

Stage sous la direction de *P. Salin*.

14.4. DELPHI

Ont signé dans la collaboration DELPHI cette année : *J.M. Brunet, J.Dolbeau et G. Tristram*.

PCC 99 10 (CERN-EP/99-49) Search for supersymmetry with R-parity violating $L\bar{L}E$ couplings at $\sqrt{s} = 183$ GeV.

P. Abreu et al., DELPHI Coll.

Soumis à *E. Phys. J. C*.

PCC 99 09 (CERN-EP/99-47) W pair production cross-section and W branching fractions in e^+e^- interactions at 183 GeV.

P. Abreu et al., DELPHI Coll.

Soumis à *Physics Letters B*.

PCC 99 08 (CERN-EP/99-46) Measurements of the leptonic branching fractions of the τ .

P. Abreu et al., DELPHI Coll.

Soumis à *E. Phys. J. C*.

PCC 99 07 (CERN-EP/99-44) Energy dependence of event shapes and of α_s at LEP 2.

P. Abreu et al., DELPHI Coll.

Accepté par *Physics Letters B*.

PCC 99 06 (CERN-EP/99-37) Search for charginos nearly mass-degenerate with the lightest neutralino.

P. Abreu *et al.*, DELPHI Coll.

Soumis à E. Phys. J. C.

PCC 99 05 (CERN-EP/99-16) Measurement of the lifetime of b -baryons.

P. Abreu *et al.*, DELPHI Coll.

Soumis à E. Phys. J. C.

PCC 99 04 (CERN-EP/99-07) Measurement of the forward-backward asymmetry of c and b quarks at the Z pole using reconstructed D mesons.

P. Abreu *et al.*, DELPHI Coll.

Soumis à E. Phys. J. C.

PCC 99 03 (CERN-EP/99-06) Search for neutral Higgs bosons in e^+e^- collisions at $\sqrt{s} = 183$ GeV.

P. Abreu *et al.*, DELPHI Coll.

Soumis à E. Phys. J. C.

PCC 99 02 (CERN-EP/99-05) Measurement and Interpretation of Fermion-Pair Production at LEP energies from 130 to 172 GeV.

P. Abreu *et al.*, DELPHI Coll.

Soumis à E. Phys. J. C.

PCC 99 01 (CERN-EP/99-03) The Scale Dependence of the Hadron Multiplicity in Quark and Gluon Jets and a Precise Determination of C_A/C_F .

P. Abreu *et al.*, DELPHI Coll.

Physics Letters **B449** (1999) 383-400.

PCC 98 58 (CERN-EP/98-199) Measurement of inclusive ρ^0 , $f_0(980)$, $f_2(1270)$, $K^{*0}(1430)$ and $f_2'(1525)$ production in Z^0 decays.

P. Abreu *et al.*, DELPHI Coll.

Physics Letters **B449** (1999) 364-382.

PCC 98 57 (CERN-EP/98-198) Study of the four-jet anomaly observed at LEP centre-of-mass energies of 130 and 136 GeV.

P. Abreu *et al.*, DELPHI Coll.

Physics Letters **B448** (1999) 311-319.

PCC 98 56 (CERN-EP/98-189) Measurement of A_{FB}^{bb} in Hadronic Z Decays using a Jet Charge Technique.

P. Abreu *et al.*, DELPHI Coll.

Soumis à Eur. Phys. J. C.

PCC 98 52 (LEPEWWG/TGC/98-02) A combination of preliminary measurements of triple gauge boson coupling parameters measured by the LEP and D0 experiments : ALEPH, DELPHI, L3, OPAL and D0 TGC combination group.

Prepared from the contributions of the LEP and D0 experiments to the summer conferences.

PCC 98 51 (CERN-EP/98-180) A precise measurement of the partial decay width ratio $R_b^0 = \Gamma_{bb}/\Gamma_{had}$.

P. Abreu *et al.*, DELPHI Coll.

Soumis à Physics Letters **B**.

PCC 98 50 (CERN-EP/98-177) Search for leptoquarks and FCNC in e^+e^- annihilations at $\sqrt{s} = 183$ GeV.

P. Abreu *et al.*, DELPHI Coll.

Physics Letters **B446** (1999) 62-74.

PCC 98 49 (CERN-EP/98-176) Search for charginos, neutralinos and gravitinos in e^+e^- interactions at $\sqrt{s} = 183$ GeV.

P. Abreu *et al.*, DELPHI Coll.

Physics Letters **B446** (1999) 75-91.

PCC 98 47 (CERN-EP/98-171) A search for heavy stable and long-lived squarks and sleptons in e^+e^- collisions at energies from 130 to 183 GeV.

P. Abreu *et al.*, DELPHI Coll.

Physics Letters **B444** (1998) 491-502.

PCC 98 46 (CERN-EP/98-170) Search for lightest neutralino and stau pair production in light gravitino scenarios with stau NLSP.

P. Abreu *et al.*, DELPHI Coll.

Eur. Phys. J. **C7**, 595-607 (1999).

PCC 98 45 (CERN-EP/98-169) Search for composite and exotic fermions at LEP2.

P. Abreu *et al.*, DELPHI Coll.

Eur. Phys. J. **C8**, 41-58 (1999).

PCC 98 44 (CERN-EP/98-151) A search for η'_c production in photon-photon fusion at LEP.

P. Abreu *et al.*, DELPHI Coll.

Physics Letters **B441** (1998) 479-490.

PCC 98 39 (CERN-EP/98-142) Search for pair-produced neutralinos in events with photons and missing energy from e^+e^- collisions at $\sqrt{s} = 130-183$ GeV.

P. Abreu *et al.*, DELPHI Coll.

Eur. Phys. J. **C6** (1999) 371-384.

PCC 98 38 (CERN-EP/98-138) Two-particle angular correlations in e^+e^- interactions compared with QCD predictions.

P. Abreu *et al.*, DELPHI Coll.

Physics Letters **B440** (1998) 203-216.

PCC 98 37 (CERN-EP/98-116) Search for scalar fermions and long-lived scalar leptons at center-of-mass energies of 130 GeV to 172 GeV.

P. Abreu *et al.*, DELPHI Coll.

Eur. Phys. J. **C6** (1999) 385-401.

PCC 98 36 (CERN-EP/98-115) Measurement of $|V_{cs}|$ using W decays at LEP2.
 P. Abreu *et al.*, DELPHI Coll.
 Santander, Espagne, 22-26 Juin 1998.
 Physics Letters **B439** (1998) 209-224.

PCC 98 27 (CERN-EP/98-95)
 π^\pm , K^\pm , p and \bar{p} production in $Z^0 \rightarrow q\bar{q}$, $Z^0 \rightarrow b\bar{b}$, $Z^0 \rightarrow u\bar{u}$, $d\bar{d}$, $s\bar{s}$.
 P. Abreu *et al.*, DELPHI Coll.
 Eur. Phys. J. **C5** (1998) 585-620.

14.5. Divers

PCC 98 33 Neutron background measurement in the underground laboratory of Modane.

V. Chazal *et al.*, Y. Giraud-Héraud.
 Astroparticle Physics **9** (1998) 163-172.

15. Collaborateurs du Laboratoire

La liste des personnes ayant contribué aux activités du Laboratoire pour tout — ou partie (notés *) — de l'année entre le 1/6/98 et le 1/6/99 est la suivante :

M. Mohamed Abbès	Électronique
M. Hadji Ahamada	Service intérieur
M. Damien Altmann*	CHOOZ
M. Alexandre Amblard*	Cosmologie
M. John N. Bahcall*	HELLAZ
M. Pierre Bareyre	Directeur
M. Fabien Baron*	Cosmologie
M. Florian Bauer*	Cosmologie
M. Tristan Beau*	CHOOZ
M. Alain Bellefon (Méric de)	HELLAZ
Ms Gisèle Bordes	Phénoménologie
Mme Janine Boucher	Informatique
M. Alain Bouquet	Cosmologie
M. Claude Boutonnet	Électronique
Mme Chantal Bréon-Hussenot	Administration
M. Dominique Broszkiewicz	Électronique
M. Jean-Michel Brunet	AUGER
M. Sebastiano Calchi Novati*	Cosmologie
M. Jean-Noël Capdevielle	AUGER-CAT
Mme Danielle Cerverra	Administration
M. Jean-Philippe Champeaux*	Cosmologie
Mlle Tania Charlotte*	Informatique
M. Raphaël Chouard*	Électronique
Mme Josette Come-Garry	Bibliothèque
M. Bruno Coppolani	Service Intérieur
M. Jean-Claude Couillard	Publications

M. Bernard Courty	Électronique
M. Olivier Dadoun*	Informatique
M. Olivier Danard*	Informatique
M. Jacques Delabrouille*	Cosmologie
M. Eric Demange*	Service Intérieur
M. Gilles Desplancques	Électronique
M. Albert Diaczek	Mécanique
M. Bernard Didierjean*	Mécanique
M. Jean Dolbeau	HELLAZ
M. Jean-Michel Drygas*	HELLAZ
M. Cyril Dufour*	Informatique
M. Robert Eschylle*	Informatique
Mme Marie-Geneviève Espigat	Informatique
M. Pierre Espigat	CAT
M. Alain Faye	Informatique
Mlle Anne Feinstein*	Informatique
M. Pierre Frenkiel	AUGER
M. Marcel Froissart	Directeur
Mlle Nadine Gagliardi	HELLAZ
M. Claude Ghesquière	Cosmologie, CAT
M. Berrie Giebels*	CAT
M. Yannick Giraud-Héraud	Cosmologie
M. Philippe Gorodetzky	HELLAZ
M. Laurent Guglielmi	Informatique
M. Patrick Guillouët	Mécanique
Mlle Cynthia Hadjidakis*	Informatique
M. Jean-Christophe Hamilton	Cosmologie
M. Nicolas Iro	Cosmologie
M. Jean-Jacques Jaeger	Électronique
Mlle Angélique Joinet*	HELLAZ
M. Jean Kaplan	Cosmologie
M. Hervé Kerret (de)	CHOOZ
M. Bruno Khelifi*	CAT
M. Alex Kim	Cosmologie
M. Didier Kryn	CHOOZ
Mme Claude Lamy	Informatique
Mme Simone Lantz	Documentation
Mme Hélène Le Bihan	Administration
M. Yann Le Du	Cosmologie
M. Jean Le Fur	Service Intérieur
M. Corentin Le Gall	AUGER
M. Bernard Lefèvre	CHOOZ
M. François Lelong	Mécanique
M. Matthieu Marcatel*	HELLAZ
M. Daniel Marchand	Mécanique
Mme Claudine Masson	Administration
M. Michal Matraszek*	CAT
M. Kadda Medjoubi*	HELLAZ

M. Javier Méndez-Alvarez*	Cosmologie
Mlle Anne-Laure Melchior*	Cosmologie
M. Daniel Monnot	Électronique
M. Filip Münz	CAT
M. Serge Néchal	Service Intérieur
Mme Audrey Noël*	HELLAZ
M. Michel Obolensky	CHOOZ
M. Guillaume Olry*	Informatique
M. Michel Pairat	Mécanique
M. Thomas Patzak	HELLAZ
M. Stéphane Paulin-Henriksson*	Cosmologie
Mlle Alice Peterfalvi*	Informatique
Mlle Nies Pheng*	CHOOZ
Mme Martine Piochaud	Administration
M. Nicolas Pochat-Pochatoux*	CHOOZ
Mme Sylviane Poulain	Administration
Mme Claude Poutot	Informatique
M. Daniel Poutot	Informatique
M. Michael Punch	CAT
Mlle Sylvie Rangan*	CAT
M. Jean-Paul Rény	Mécanique
M. Benoît Revenu	Cosmologie
M. Frédéric Roger*	Électronique
M. Pierre Salin	Mécanique
M. Khnkanos Sanosyan*	AUGER, CAT
M. Antony Sarrat	HELLAZ
M. Sahbi Selmane	Électronique
M. Oleg Sokolsky	Sécurité
M. Sergueï Sukhotine	CHOOZ
Mme Sylviane Szafran*	Informatique
M. Jacek Szabelski*	CAT
Mme Charling Tao*	HELLAZ
M. Philippe Tardy	Électronique
Mme Fanta Tembely	Informatique
M. Régis Terrier*	CAT
M. Grégory Thiney	Informatique
M. Gérard Tristram	AUGER
Mme Dominique Vallée*	Informatique
M. Jean-Charles Vanel	Cosmologie, HELLAZ
M. Jean Vergne	Électronique
M. Didier Véron*	CHOOZ
M. Jean-Pierre Villain	Informatique
M. Albin Volte	CAT
M. Jack Waisbard	Électronique
M. Tadeusz Wibig*	CAT
Mlle Béatrice Yoffo	Mécanique