



1530

COLLEGE DE FRANCE
Physique Corpusculaire et Cosmologie

Rapport d'activité du Laboratoire

1999-2000

Téléphone : +33-1 44 27 14 39
Standard : +33-1 44 27 12 11
Télécopie : +33-1 43 54 69 89

UMR 7553
IN2P3 – CNRS

<http://cdfinfo.in2p3.fr>
11, pl. Marcellin-Berthelot
75231 Paris Cedex 05

1 Introduction

Depuis le milieu de la décennie 90, en particulier sous l'impulsion de *P. Bareyre* et *M. Froissart* qui ont co-dirigé le Laboratoire jusqu'au 30 juin 99, les scientifiques du Laboratoire se sont réorientés exclusivement vers ce domaine en émergence que l'on appelle « astroparticules », domaine frontière entre la physique des particules et l'astrophysique, qui englobe également la cosmologie. Ce recentrage s'est affiné au cours de la dernière année et, compte tenu des forces dont nous disposons, nous pensons avoir atteint un équilibre thématique sinon optimal, du moins séduisant. Cet équilibre doit évidemment s'envisager dans le cadre du futur du Laboratoire. Ce cadre s'est récemment précisé : les thématiques d'« astroparticules et cosmologie » (APC) se retrouvent en effet au cœur du projet scientifique de l'UFR de Physique de l'Université Paris VII dans l'optique de sa refondation sur le site de Paris Rive Gauche-Tolbiac à partir de 2003. Les contacts pris depuis plus d'un an avec l'Université Paris VII vont conduire à un rapprochement formel sous la forme d'une UMR tripartite entre le Collège de France, le CNRS-IN2P3 et l'Université Paris VII qui verra le jour le 1er janvier 2001. Ce rapprochement avec l'Université est une chance supplémentaire pour le Laboratoire qui deviendra une composante essentielle du futur pôle APC.

Traditionnellement, le rapport du Laboratoire couvre l'année universitaire et le présent document correspond donc à la période juillet 1999 – juin 2000. La tenue du comité d'évaluation de juin 2000 (qui sera suivie à l'automne de la visite quadriennale de la section 03 du Comité National) nous a incités par sagesse à ne pas modifier ce rythme pour l'instant. Parmi les points marquants de l'année écoulée concernant le programme scientifique, nous rappelons :

- a) la décision de l'IN2P3 de participer à GLAST, en collaboration avec le CEA et sous l'égide du CNES ;
- b) le succès du vol technique d'ARCHEOPS en juillet 99 à Trapani ;
- c) les premiers résultats de CELESTE, sur le site de Thémis, au printemps 2000 ;
- d) l'arrivée des premières cuves de l'observatoire Pierre Auger sur le site argentin de Malargüe, en attendant l'installation complète du *réseau test* d'ici fin 2000 ;
- e) les résultats finals de l'expérience de CHOOZ à l'automne 99.

Dans ce rapport, nous regroupons les activités scientifiques en 4 chapitres correspondant aux 4 groupes de physique du Laboratoire. En allant des énergies les plus élevées vers les énergies les plus basses, nous rencontrons :

- a) l'étude des rayons cosmiques de très haute énergie ($> 10^{19}$ eV), avec l'expérience AUGER ; l'expérience a pris son essor en 1999, avec la décision de financement au niveau du CNRS ;
- b) l'astronomie gamma à haute énergie (10 GeV – 10 TeV), avec les expériences CAT et CELESTE, qui fonctionnent sur le site de Thémis et le futur, avec le projet HESS à partir de 2002 (astronomie gamma au sol en Namibie) et le projet GLAST (astronomie gamma sur satellite) à partir de 2005 ;
- c) l'étude des neutrinos et la quête de leur masse via les oscillations ; jusqu'à l'an dernier, deux activités, CHOOZ (étude des neutrinos de réacteurs) et HELLAZ (R & D sur les neutrinos solaires) se complétaient sur ce sujet ; après la fin de l'expérience CHOOZ et ses brillants résultats et la position de l'IN2P3 sur l'ambitieux mais difficile projet HELLAZ,

l'activité va se réorienter progressivement vers un programme à court et moyen terme sur les neutrinos solaires avec le couplage BOREXINO / LENS ;

- d) la cosmologie observationnelle, avec l'étude du rayonnement cosmologique primordial à 3 K, grâce au ballon ARCHEOPS (2001) et au satellite PLANCK (2007), sans oublier la fin du programme AGAPE (recherche d'événements de microlentille gravitationnelle par la méthode des pixels) avec les observations sur le télescope INT des Canaries.

Nous mentionnerons pour mémoire l'activité sur DELPHI qui se terminera avec l'arrêt du LEP en 2000.

Quelques remarques sur ce programme :

- i) sur chaque thème, nous recherchons un équilibre entre les expériences en cours, qui permettent d'avoir des données à analyser, et la préparation des expériences à venir, qui assurent le futur du Laboratoire ;
- ii) la quasi-totalité des expériences ou des projets se font en collaboration avec d'autres laboratoires, et il s'agit le plus souvent de collaborations internationales ;
- iii) ces 4 thèmes se trouvent au cœur des thèmes scientifiques du futur pôle APC de Paris VII.

Vivant sur le plan scientifique, le Laboratoire l'est également sur le plan structurel, nous l'avons dit en préambule. Le Laboratoire est actuellement une UMR (n° 7553) entre le Collège de France et le CNRS-IN2P3, dont la contractualisation arrive à renouvellement fin 2000. Nous nous orientons, pour la prochaine période quadriennale 2001-2004, vers la création d'une UMR tripartite entre le Collège de France, le CNRS-IN2P3 et l'Université Paris VII. Cette orientation a reçu un accord de principe de l'Administrateur du Collège de France, de la direction de l'IN2P3 et de l'Université Paris VII. Elle a été largement discutée (et approuvée) lors de plusieurs conseils de Laboratoire et d'une assemblée générale qui s'est tenue en mars 2000.

Au cours de cette année, 2 thèses ont été soutenues, et il faut souligner l'heureuse surprise de l'arrivée de 5 nouveaux thésards à l'automne 1999, preuve s'il en fallait du dynamisme et de l'attrait que constituent à la fois nos équipes et nos thématiques scientifiques. Parmi les bonnes nouvelles, rappelons le recrutement d'un chercheur CNRS à l'automne 99, *J. Delabrouille*, affecté dans le groupe de cosmologie observationnelle pour travailler sur le rayonnement cosmologique primordial. Je voudrais également dire quelques mots du nouveau fonctionnement du service de mécanique. Anticipant le départ des 2 IR en mécanique (*A. Diaczek* en janvier 2000 et *D. Marchand* en juin 2000), la direction du Laboratoire avait depuis longtemps demandé à l'IN2P3 le recrutement d'un IR pour diriger le service de mécanique. Après de longues discussions, liées au souhait de l'IN2P3 de rapprocher les services de mécanique du Laboratoire et du LPNHE de Jussieu, nous sommes arrivés à un compromis : *D. Imbault*, qui dirige le service de mécanique de Jussieu, a pris également la direction de celui du Laboratoire depuis le 1^{er} avril 2000 et partage son temps entre les deux laboratoires ; un IR en mécanique arrivera au Laboratoire en septembre 2000 ; des réunions régulières de concertation entre les directions des deux laboratoires se sont mises en place.

Le Laboratoire comprend aujourd'hui 26 physiciens, 44 ITA, 9 doctorants et 6 post-doctorants ou visiteurs étrangers. Le personnel est pour l'essentiel CNRS. Le personnel du Collège de France comprend un professeur, 2 maîtres de conférences et 6 IPTARF. Il y a également une mise à disposition du CEA (le directeur) et un maître de conférences à Paris 6. Le Laboratoire a trois services techniques – outre un service administratif, un service intérieur et une équipe de bibliothèque et documentation. Le service de mécanique comprend

9 personnes (dont un IR en cours de recrutement), le service d'électronique 11 personnes, et le service d'informatique 10 personnes. *G. Tristram* assure la coordination de ces trois services.

Il n'y a pas eu de journées du Laboratoire comme celles organisées à Saint-Malo en décembre 1998. Avec le rythme biennal traditionnel de ces réunions, le Laboratoire se retrouvera au début de 2001 dans un lieu encore tenu secret.

Je remercie les rédacteurs qui ont permis qu'une première version de ce rapport soit prête pour la réunion du Comité d'Evaluation le 6 juin. Un merci particulier à *Marcel Froissart* qui a coordonné l'édition avec talent et fermeté quant aux délais.

Daniel Vignaud, Directeur du Laboratoire

2 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 inexplicée, 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.

2.1 Description du dispositif

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 1600 *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.

2.2 Construction de l'Observatoire

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 de Malargüe, dans la province de Mendoza en Argentine, et de Millard County dans l'Utah (USA).

Pour les raisons citées au paragraphe précédent, nous commençons 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 les années 2000-2001 devraient 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 d'intérêt physique à partir de l'année 2001.

Une cinquantaine d'institutions, de 19 pays, participent à la collaboration à ce jour. La participation française, fortement pluridisciplinaire, regroupe des laboratoires liés 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.

Mentionnons notamment que le promoteur et principal acteur de cette collaboration, le professeur *James W. Cronin*, a passé cette année au Laboratoire, comme titulaire de la Chaire Internationale du Collège de France.

2.3 Réalisations du Laboratoire

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

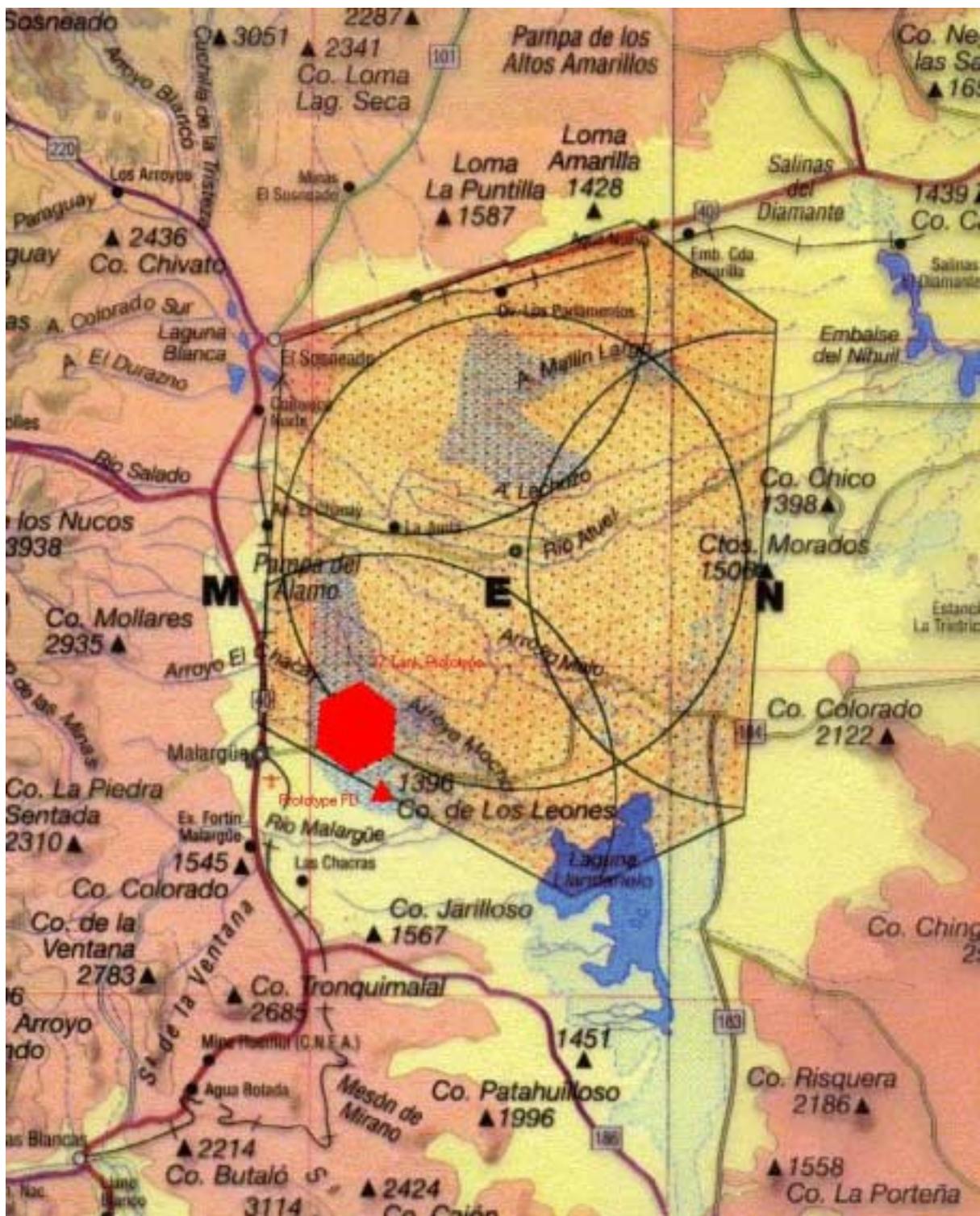
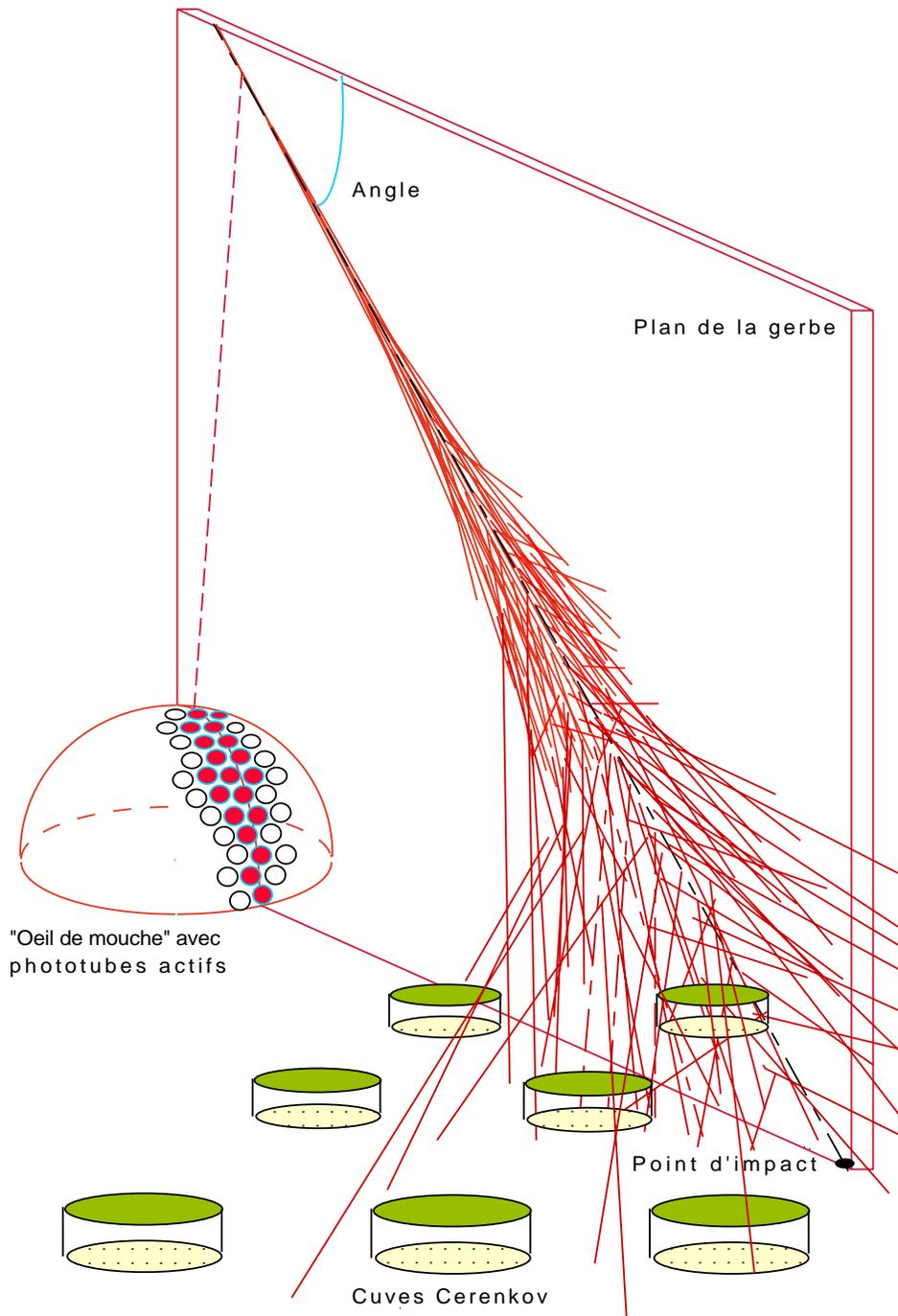


FIG. 1: Carte du site austral de Malargüe



Représentation schématique de la détection d'une gerbe atmosphérique par un détecteur hybride. Reproduit avec la permission de E.Zas, d'après un article dans la Revista Española de Física.

FIG. 2: Grande gerbe et détecteurs

i) **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.

ii) **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 du logiciel d'acquisition y a été installée.

iii) **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 (Application-Specific Integrated Circuit, circuit intégré spécifique à une application) qui concentrera toutes les fonctionnalités de cette carte en un seul composant électronique. Cet ASIC équipera le prototype de 2^{ème} génération (qui doit être fonctionnel au début du 4^{ème} trimestre 2000) et la carte définitive.

iv) **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 a conduit la collaboration à nous

confier la responsabilité de l'unification de ces modules en une carte unique et définitive qui doit équiper, à partir de 2001, les stations locales.

Nous avons déjà emporté sur le site argentin de Malargüe un ensemble comprenant les cartes suivantes :

- ▷ Carte mère, contrôleur, carte Ethernet (construites par le Collège de France),
- ▷ Contrôle & surveillance (construite par le LAL d'Orsay)
- ▷ Mesure de temps (construite par le service Temps et Fréquences de l'Observatoire de Besançon)

Cet ensemble, ainsi que l'interface de télécommunications, avait été préalablement testé dans notre Laboratoire. Il servira à vérifier le bon fonctionnement des instruments de contrôle en attendant le dernier module d'électronique qui réalise l'interface avec les photomultiplicateurs et le premier niveau de déclenchement. Cette carte est sous la responsabilité de l'*Université Technologique du Michigan* et devrait arriver sur le site durant le dernier trimestre 2000.

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

3 Etude 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 phénomènes cosmiques les plus énergétiques de l'univers et c'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. L'étude du spectre en énergie des rayons gamma cosmiques, émis par des sources lointaines, 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 CAT et CELESTE, 2 expériences en exploitation sur le site de THEMIS, à Targasonne 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.

Le Laboratoire prépare aussi l'avenir et s'intéresse à 2 projets nouveaux en astronomie gamma : HESS et GLAST.

3.1 CAT

CAT est en phase d'exploitation de croisière. Une vingtaine de sources galactiques et extragalactiques sont suivies en permanence et plus particulièrement la nébuleuse du Crabe et 2 objets extragalactiques, les AGN Mrk501 et Mrk421. Ces derniers objets ont été observés ponctuellement simultanément par le satellite Beppo-SAX et les télescopes gamma de l'hémisphère nord (dont CAT) – voir fig.3, p. 9. En effet, la mesure simultanée de la plus grande bande pos-

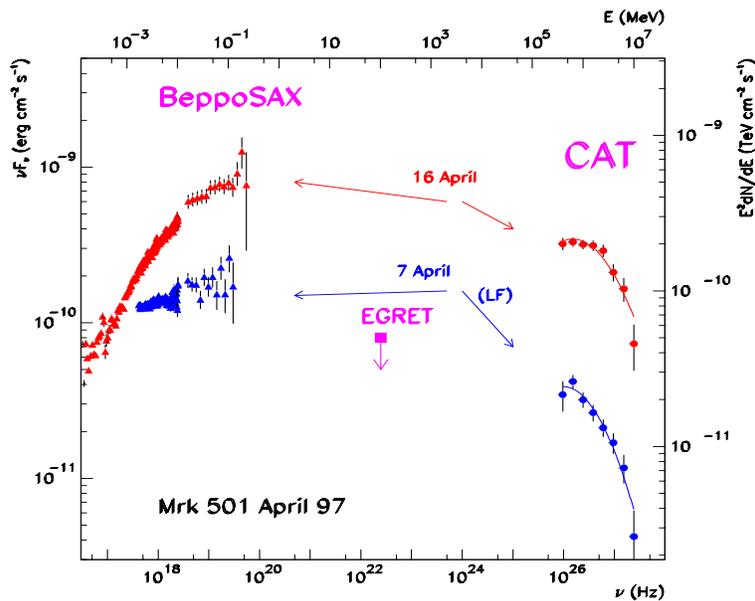


FIG. 3: Les spectres X et VHE de Mrk 501 des 7 et 16 avril 1997, montrant leur corrélation. La borne supérieure d’EGRET correspond aux observations faites entre les 9 et 15 avril. De telles corrélations ont aussi été observées sur Mrk 421 pendant des campagnes d’observation coordonnées.

sible 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 n’a pas participé à la construction du détecteur mais joue un rôle de premier plan dans l’analyse des données.

3.2 CELESTE

Jusqu’à la fin des années 90, les astronomes disposaient de détecteurs couvrant l’ensemble du spectre électromagnétique, des ondes radio au delà du TeV, à l’exception de la bande 20–300 GeV. C’est l’ambition de l’expérience CELESTE de couvrir cette bande énergétique à l’aide d’un télescope au sol. Pour atteindre un seuil de 20 GeV avec la technique Cerenkov atmosphérique, il faut avoir une surface de miroirs très importante. CELESTE réutilise 40 héliostats de 50 m² de l’ancienne centrale solaire THEMIS. Une optique secondaire a été installée en haut de la tour, à la place de l’ancienne chaudière, et une électronique rapide développée. CELESTE est opérationnelle depuis le printemps 1999. Après une période de mise au point difficile, les premiers résultats ont été obtenus au début de l’année 2000. Pour la première fois des rayons gamma de 30 GeV en provenance de la nébuleuse du Crabe ont été détectés, ainsi qu’un sursaut de l’AGN Mrk421 dans le même domaine d’énergies.

CAT et CELESTE ont des programmes d’observation communs. La présence sur le même site de ces 2 détecteurs complémentaires permet d’une part des calibrations croisées (garantisant une meilleure compréhension des deux appareillages) et surtout l’observation simultanée des sources, dans les mêmes conditions. Nous disposons sur le site d’outils uniques permettant l’observation d’objets célestes entre 50 GeV et 10 TeV. Afin de baisser encore le seuil du détecteur, le nombre d’héliostats devrait être accru. En tous cas, il est nécessaire de revoir l’électro-



FIG. 4: Le champ des héliostats de Thémis vu d'avion. On devine à l'extrême gauche la tour portant le détecteur CELESTE

nique de pilotage des héliostats qui a presque 20 ans d'âge. Le Laboratoire a la responsabilité de l'étude et de la mise en place de ce nouveau système, à base de microcontrôleurs et de liaisons radio. Les premiers héliostats seront équipés au début de l'été 2000.

La connaissance de la transmission de l'atmosphère pour interpréter les données provenant des détecteurs utilisant la technique de Cerenkov atmosphérique est importante et particulièrement pour CELESTE, que la grande surface de miroirs rend extrêmement sensible aux variations du ciel. Afin d'essayer de mesurer cette transmission, un LIDAR a été construit avec la participation de notre groupe sur le site de THEMIS. Le principe est simple : un laser (générant plusieurs longueurs 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). Le Laboratoire a réalisé la mécanique de l'appareil. Les premières mesures sont programmées pour la mi-2000.

3.3 HESS

Ce projet est dans la continuité directe de CAT. C'est un ensemble de 4 télescopes utilisant la technique du Cerenkov atmosphérique. Chaque télescope comprend un miroir de 100 m^2 et une caméra de près 1000 pixels. Ce projet franco-allemand – en collaboration avec le Max-

Planck Institut de Heidelberg – sera installé en Namibie. La surface du miroir, l'utilisation de la technique stéréo et le grain fin de la caméra devraient permettre d'atteindre un seuil en énergie de 100 GeV avec une sensibilité 10 fois celle de CAT. Ses caractéristiques et son lieu d'exploitation (l'hémisphère Sud) font de cet instrument un moyen très performant pour 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. C'est aussi un instrument performant pour étudier tous autres émetteurs gamma qui pourraient être découverts.

Le premier télescope devrait être opérationnel sur le site à l'été 2001, et l'ensemble fin 2002. L'équipe du Laboratoire est engagée dans la construction d'un banc de test des cônes de Winston. Ces cônes sont placés devant chaque photomultiplicateur et permettent d'augmenter la collecte de lumière utile tout en réduisant la lumière parasite. Il est nécessaire de mesurer les propriétés optiques de chacun, ce qui sera réalisé à l'aide du banc.



FIG. 5: Vue d'artiste des 4 télescopes de HESS en station en Namibie.

3.4 GLAST

Les détecteurs au sol ont une grande sensibilité mais un petit champ de vue, ce qui rend difficile la détection de nouvelles sources. Au contraire, les détecteurs spatiaux ont une faible sensibilité mais un grand champ de vue. Les deux techniques sont donc complémentaires. L'opportunité de rejoindre le projet GLAST s'est concrétisée en 1999 par une décision de l'IN2P3. GLAST est un projet américain de détection de rayons gamma de quelques MeV à une centaine de GeV, embarqué dans un satellite, et qui sera opérationnel en 2006. Le détecteur se compose d'un détecteur de traces, formé d'un sandwich de microstrips de silicium et de minces feuilles de plomb, et d'un calorimètre en CsI. Les gammas incidents se convertissent dans le détecteur en une paire électron-positron, dont les directions sont déterminées à l'aide des microstrips de silicium, et l'énergie mesurée 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. Son grand champ de vue, sa grande surface de collecte et sa résolution angulaire en font un outil fondamental pour la recherche de sources gamma. La France est partie prenante dans la construction du calorimètre et le Laboratoire plus précisément dans la simulation. Il a en charge l'optimisation de la liaison optique entre les cristaux et les photodiodes de lecture. Pour cela, un banc de test reproduisant les conditions de température et de pression régnant en orbite est à l'étude au Laboratoire ; divers systèmes de liaison pourront être ainsi testés dans des conditions réalistes. Notre Laboratoire a aussi la responsabilité de pratiquer au CERN les tests sur faisceau nécessaires pour optimiser et contrôler le calorimètre.

Avec CAT et CELESTE, le Laboratoire est impliqué dans des expériences de rayons gamma cosmiques couvrant le spectre électromagnétique de 50 GeV à 10 TeV. GLAST et HESS permettront de poursuivre dans cette voie avec des moyens complémentaires et plus performants.

Participent ou ont participé à ces activités au Laboratoire :

C. Boutonnet, A. Chekhtman, B. Courty, A. Djannati-Ataï, C. Dufour, M.-G. Espigat, P. Espigat, L. Guglielmi, B. Khelifi, F. Lelong, C. Masterson, D. Marchand, F. Münz, M. Punch, J.P. Rény, S. Selmane, Ph. Tardy, R. Terrier, D. Vallée, A. Volte et B. Yoffo.

4 Neutrinos solaires

La physique des neutrinos se focalise depuis de longues années sur la recherche de leur masse, masse qui ouvre une porte au-delà du modèle standard minimal de la physique des particules et dont les implications sont cruciales en cosmologie. Dans la recherche d'oscillations entre les différentes familles (clé probable de l'existence de la masse), deux domaines sont aujourd'hui prometteurs, celui des neutrinos « atmosphériques » et celui des neutrinos solaires.

Du côté des neutrinos atmosphériques, l'expérience SUPERKAMIOKANDE a annoncé au printemps l'observation probable de l'oscillation entre les ν_μ et une autre famille (avec un mélange maximal et une valeur de Δm^2 de quelque 10^{-3} eV^2). L'expérience de CHOOZ, à laquelle a activement contribué le Laboratoire, a permis d'éliminer une des deux solutions et favorise l'oscillation entre ν_μ et ν_τ (voir Fig. 6, p. 14). Du côté des neutrinos solaires, c'est la solution d'oscillation entre ν_e et ν_μ qui est privilégiée (elle explique parfaitement l'ensemble des résultats expérimentaux, mais il manque encore la preuve qu'elle constitue LA solution). Pour aller

plus loin, il faut :

- a) observer à haute énergie soit une déformation du spectre (SUPERKAMIOKANDE ou SNO), soit les courants neutres (SNO), et des résultats sont attendus prochainement ;
- b) observer ce qu'il est advenu des neutrinos de moyenne énergie (ceux du ${}^7\text{Be}$) et de basse énergie (les neutrinos de pp) ; de nouvelles expériences vont bientôt démarrer comme BOREXINO à moyenne énergie au Gran Sasso ou sont en projet (LENS, HELLAZ). HELLAZ est un programme de R & D séduisant et ambitieux, initié il y a plusieurs années au Laboratoire. Son but est la mesure précise du spectre des neutrinos de basse énergie (ceux de pp et du ${}^7\text{Be}$).

L'expérience de CHOOZ s'est terminée en 1998 et les dernières publications ont été faites en 1999. L'équipe de CHOOZ s'est alors intéressée à l'autre volet des oscillations, les neutrinos solaires, en prenant contact avec l'expérience BOREXINO (mesure des neutrinos du ${}^7\text{Be}$), qui doit démarrer en 2001. Sa proposition de construire des flash ADC à 400 MHz, pour une mesure précise du signal au-dessus de 1 MeV a été retenue par la collaboration BOREXINO. La discussion de la participation du Laboratoire à BOREXINO est en cours. Parallèlement, la R & D LENS s'est mise en place pour mesurer les contributions respectives des neutrinos de pp et de ceux du ${}^7\text{Be}$. La forte synergie entre BOREXINO et LENS a conduit la même équipe à s'intéresser simultanément à BOREXINO et LENS.

L'IN2P3 ayant décidé de ne plus soutenir HELLAZ, il a été décidé que ce programme ne se poursuivrait plus au Laboratoire au delà de la fin 2000. La présente année est donc une année de transition entre un programme CHOOZ – HELLAZ et un programme BOREXINO – LENS qui sera focalisé sur les neutrinos solaires à court et moyen terme.

4.1 Expérience de CHOOZ

L'étude des neutrinos émis par les réacteurs nucléaires est un moyen privilégié d'observer les oscillations des neutrinos. Après les expériences auprès des réacteurs du Bugey, l'expérience de CHOOZ, dans les Ardennes, a confirmé la maturité des équipes françaises dans ce domaine. L'équipe du Laboratoire a contribué très fortement à cette expérience. En éloignant le détecteur de près d'un kilomètre des réacteurs, l'expérience de Chooz a permis de gagner plus d'un ordre de grandeur dans la sensibilité aux paramètres de l'oscillation.

L'expérience de CHOOZ a publié ses résultats définitifs en novembre 1999. Le rapport entre nombre de $\bar{\nu}$ détectés et celui de $\bar{\nu}$ attendus en l'absence d'oscillations est de

$$1,01 \pm 0,028 \% \text{ (statistique)} \pm 0,027 \% \text{ (systématique)}$$

C'est une confirmation de la première publication de 1998, avec une statistique doublée et des erreurs systématiques diminuées. Ce nouveau résultat réduit encore l'espace disponible pour une oscillation entre ν_e et ν_μ , et élimine cette hypothèse pour expliquer la disparition de ν_μ observée par SUPERKAMIOKANDE. Sa crédibilité est considérée comme très grande. Les expériences en construction à l'heure actuelle privilégient la recherche d'une oscillation entre ν_μ et neutrinos ν_τ (qui ne peut être observée par une expérience sur réacteurs telle que CHOOZ).

Le résultat atteint est meilleur que celui annoncé dans la proposition d'expérience. Les erreurs statistiques sont maintenant équivalentes à des erreurs systématiques qui ne peuvent plus guère être réduites. La décision d'arrêter l'expérience a donc été prise à la fin de 1998.

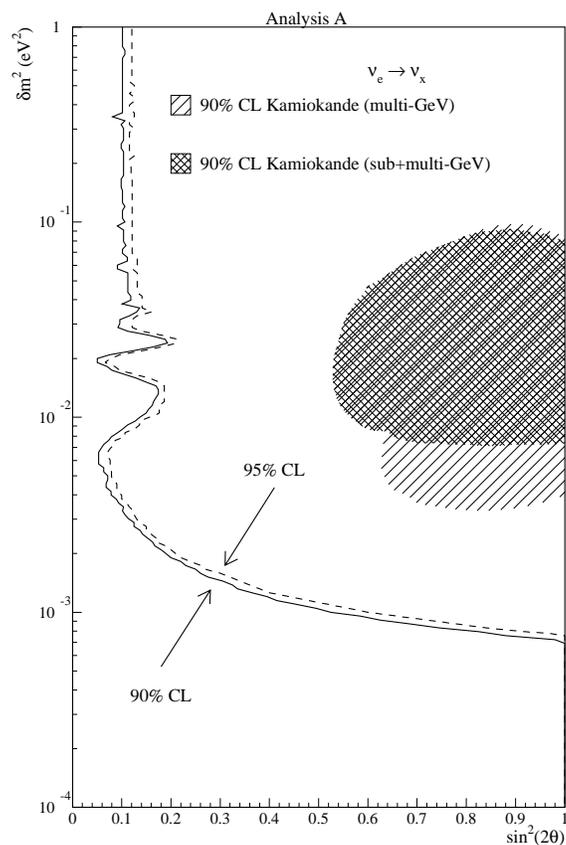


FIG. 6: Contour exclu par l'expérience de Chooz dans le plan des deux paramètres majeurs de l'oscillation des $\bar{\nu}_e$: angle de mélange et différence de masses carrées. La solution d'oscillation $\nu_\mu - \nu_e$ donnée par SUPERKAMIOKANDE est la zone hachurée, en plein dans la zone d'exclusion.

Durant l'année 1999, le Laboratoire a assuré le démontage des installations fixes. Comme durant toute l'expérience, ses services techniques ont organisé et assuré la plus grande partie du travail, et en raison de la proximité relative, ont même assuré des travaux que d'autres laboratoires ne souhaitaient pas entreprendre (ainsi la destruction du liquide scintillant, qui relevait de la responsabilité des universités américaines, a-t-elle été organisée par le Laboratoire).

Au total, l'expérience de CHOOZ aura duré 5 ans, et rempli parfaitement ses buts. L'excellent rapport signal/bruit (supérieur à 10) en a fait l'expérience de référence dans ce domaine de l'étude des neutrinos de réacteurs, à la fois par la qualité expérimentale et par la portée scientifique de son résultat.

Ont participé aux diverses phases de l'expérience de CHOOZ au Laboratoire : *H. Ahamada, F. Bauer, M. Ben Jaber, J. Boucher, G. Calvayrac, B. Courty, P. Courty[†], G. Desplancques, E. Duverney, P. Guillouët, A. Guimard, H. de Kerret, S. Khaltourtsev, D. Kryn, B. Lefièvre, F. Lelong, D. Marchand, A. Martemyanov, D. Monnot, M. Obolensky, J.-P. Rény, C. Robert, F. Roger, A. Sabelnikov, P. Salin, S. Selmane, M. Skorokhvatov, O. Sokolsky, S. Soukhotine, Ph. Tardy, J. Vergne, D. Véron, F. Vinchon, V. Vyrodov*, ainsi que de nombreux collègues russes

4.2 BOREXINO – LENS

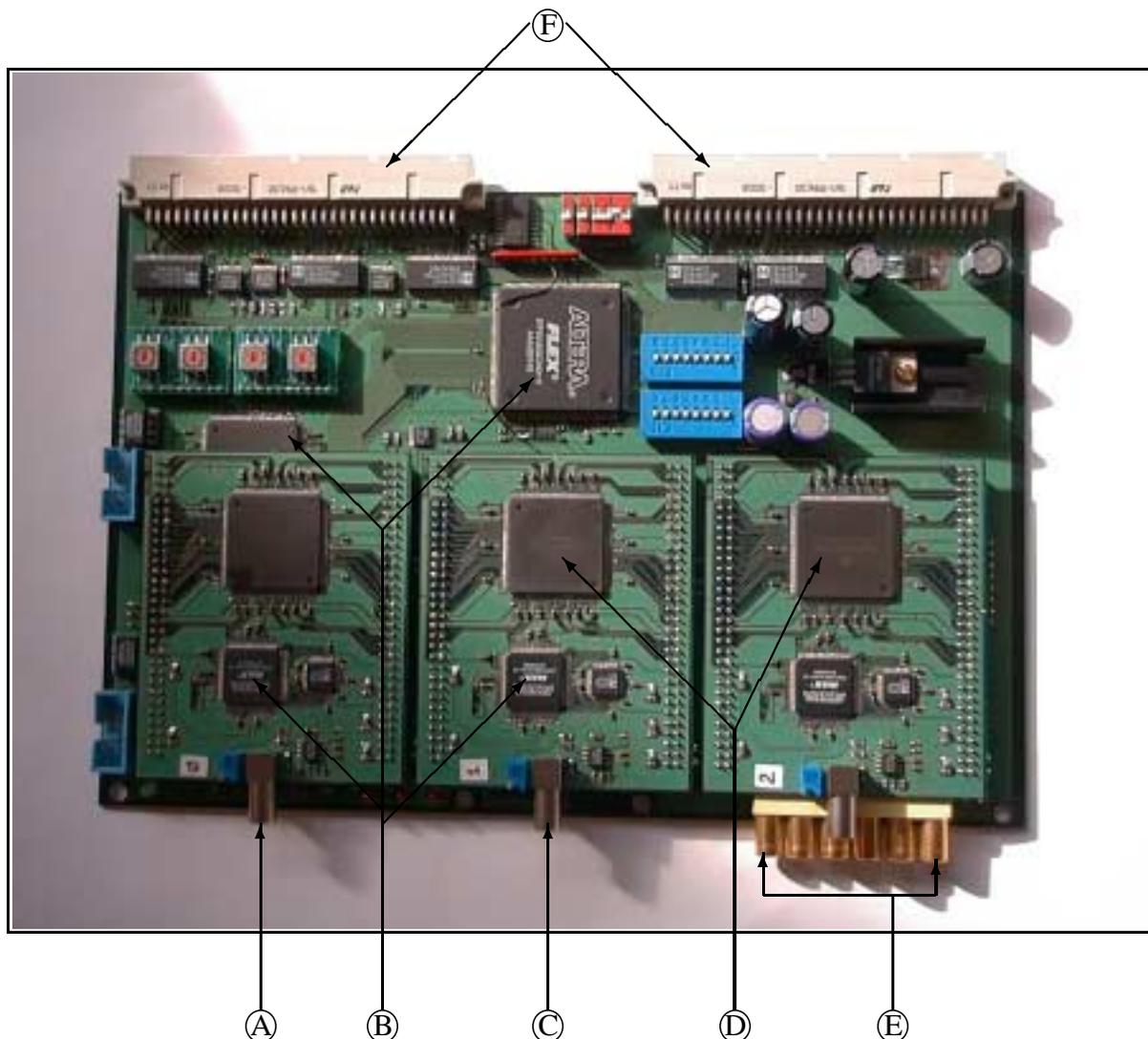


FIG. 8: Carte du FADC à 400 MHz

- (A) : Entrée du signal, voie 0
- (B) : Logiques programmables
- (C) : Entrée du signal, voie 1
- (D) : Mémoires cycliques, voies 1 et 2
- (E) : Entrées des signaux de commande
- (F) : Connecteurs de fond de panier VME

Les deux détecteurs européens, BOREXINO et LENS, utilisent des photomultiplicateurs et du liquide scintillant, comme CHOOZ. Plusieurs des techniques employées sont les mêmes, et cela a conduit naturellement le groupe à se placer au point de convergence de ces deux expériences. Parmi les nombreux problèmes qu'elles ont en commun, la reconnaissance des formes

d'impulsions a retenu particulièrement l'attention. En effet, le groupe a une expérience des flash ADC rapides, puisqu'il a conçu et mis en œuvre avec succès le flash ADC à 166 MHz de CHOOZ. La version de cette carte étudiée dans le CROP² à des fins commerciales s'est avérée aisée à reprendre – à plus haute fréquence – pour LENS et BOREXINO.

Dans LENS, cette reconnaissance de forme est un problème essentiel, car la signature d'un événement de neutrino est constituée de deux particules séparées avec une constante de temps de 70 ns. Il faut donc analyser la forme de toutes les impulsions, pour séparer une impulsion du bruit de fond distordue d'un vrai événement de neutrino. Dans BOREXINO, il s'agit d'une séparation par PSD³ entre les impulsions longues produites par des particules lourdes, très ionisantes (tels les alphas, les protons de recul . . .), et les signaux courts des électrons (cette séparation réduit le bruit de fond, et est particulièrement utile pour rejeter ce dernier lors de la détection des neutrinos de réacteurs nucléaires émis à 700 km du détecteur, en France).

La simulation de ces impulsions est un deuxième axe de travail du groupe, qui a repris pour cela les outils qu'il avait développés pour l'expérience de CHOOZ, et qui ont été utilisés par toute la collaboration.

Ce programme de travail permet d'avoir une place bien identifiée dans les deux expériences.

Divers budgets, notamment une contribution américaine, ont permis de faire fabriquer le flash ADC à 400 MHz par la société italienne CAEN. Le prototype de flash ADC est aujourd'hui complètement testé, et sera utilisé en juin 2000 pour calibrer le PSD sur le détecteur prototype de BOREXINO appelé « Counting Test Facility ». En même temps, ces données permettront de fournir les premières mesures du taux de rejet d'impulsions pour LENS, et de les comparer à la simulation.

Après le départ en juin 1999 de *F. Roger*, la réalisation du flash ADC a été reprise par le service d'électronique du Laboratoire, dirigé par *J.-J. Jaeger*, qui en a organisé la finalisation. *S. Selmane* a repris la CAO et l'adaptation du schéma aux nouvelles contraintes de physique ; *J. Waisbard* (pour le préamplificateur), *B. Courty* (pour la logique de la carte), et *D. Monnot* ont également contribué à ce travail.

Le laboratoire a également pris en charge le site WEB de la collaboration LENS, installé au Centre de Calcul de l'IN2P3 (la responsable en est *J. Boucher*)

T. Beau devrait soutenir en 2002 une thèse sur ce programme de physique.

Ont participé au programme BOREXINO au Laboratoire dans l'année :

T. Beau, A. de Bellefon, J. Boucher, B. Courty, G. Desplancques, J.-J. Jaeger, H. de Kerret, D. Kryn, B. Lefèvre, D. Monnot, M. Obolensky, S. Selmane, Ph. Tardy, J. Vergne, D. Vignaud, J. Waisbard.

4.3 Projet HELLAZ : la mesure du spectre des neutrinos solaires

4.3.1 Principe de HELLAZ

Aucune des expériences mesurant des neutrinos solaires ne peut mesurer de spectre en énergie du neutrino en dessous de 5 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 420 keV) est fondamentale car le flux *pp* est connu à mieux que 1 %

²Contrat de Recherches à Objectifs Partagés

³Pulse Shape Discrimination – Discrimination par forme d'impulsion

par la mesure de la luminosité du soleil, et est en désaccord avec les mesures intégrées des expériences GALLEX et SAGE. C'est pourquoi la mesure du spectre lui-même est indispensable pour lever les ambiguïtés entre les divers mécanismes proposés.

Il faut donc construire un spectromètre à neutrinos solaires sensible à partir de 200 keV et de résolution meilleure que 10 %. Cette dernière pourra être contrôlée par l'élargissement de la raie des neutrinos issus du ^7Be .

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 20 bars, 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. Ceci suppose un gain du détecteur en fin de dérive supérieur à 10⁶.

4.3.2 Etat de la R & D : HELLAZ-1

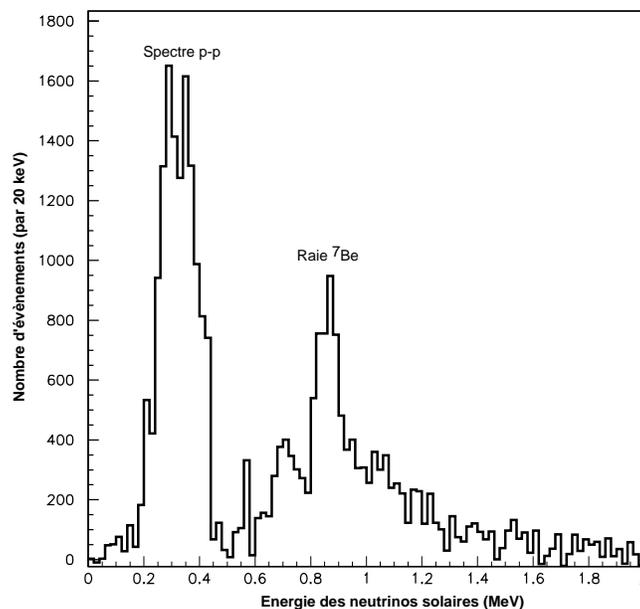


FIG. 9: Spectre simulé à partir de la résolution angulaire obtenue, accumulé par HELLAZ pendant 5 ans à 15 événements par jour et avec un fond de 10 000 gammas (U-Th) par jour soustraits par la méthode du « soleil tournant »

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 20 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 2 % pour 20 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 de 100 μm. Le problème est

actuellement le gain. A 1 bar, avec 6 % d'isobutane, nous avons obtenu une bonne efficacité pour l'électron unique (gain de $5 \cdot 10^6$). Par contre, à 20 bar, avec 2 % de méthane, nous avons longtemps été limités à 10^4 . Une analyse de gaz résiduels poussée (sensibilité de 10^{-9}) et l'utilisation d'une salle blanche nous ont permis de monter à 10^5 . La limite semble actuellement être due à l'état de surface des fils de cuivre du circuit imprimé de l'anode. De nouveaux circuits sont en construction. L'utilisation de simulations avancées sur le développement des avalanches nous indique aussi que le pourcentage optimum d'isobutane à 20 bar est 0,5 %, et que ce dernier est donc gazeux. Or l'isobutane donne un gain d'une centaine de fois supérieur à celui donné par le méthane.

Parallèlement, nous avons engagé un important travail de simulation. Le programme GEANT du CERN engendre des traces d'électrons de 100 keV à 1 MeV, 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. Une efficacité de 90 % est obtenue sur des pistes séparées par 1,5 mm. La reconnaissance de l'angle, variable avec l'énergie et la distance de dérive, est actuellement assez élevée pour distinguer les neutrinos *pp* de ceux du ${}^7\text{Be}$ (voir fig. 9, p. 17). 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 ».

Ont contribué à HELLAZ pendant la période de référence du présent rapport :

A. de Bellefon, D. Broszkiewicz, O. Danard, A. Diaczek, G. Dournes, J. Dolbeau, M. Gladieux, Ph. Gorodetzky, P. Guillouët, M. Hamidouche, J.-J. Jaeger, A. Joinet, K. Medjoubi, N. Miletic, M. Pairat, B. Pigeyre, P. Salin, A. Sarrat, S. Selmane, J.-C. Vanel, J. Waisbard.

5 Cosmologie Observationnelle

Les sujets de recherche du groupe de Cosmologie Observationnelle sont axés sur la recherche d'objets massifs et compacts constituant la matière cachée baryonique, et sur la mesure des anisotropies du fond diffus cosmologique, qui vont bientôt constituer l'essentiel du programme.

L'année 1999-2000 a été marquée :

- ▷ par la poursuite du programme de la collaboration AGAPE de recherche d'effet de micro-lentille gravitationnelle sur des étoiles non-résolues de la galaxie d'Andromède ;
- ▷ par une activité dans la physique des anisotropies du rayonnement à 3 K à travers notre implication dans le programme PLANCK (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 - IAS) et l'exploitation du vol technique d'ARCHEOPS à Trapani de juillet 1999.

5.1 Recherche de matière noire baryonique : AGAPE

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.

5.1.1 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'objet 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.

5.1.2 La méthode des pixels

Il nous a semblé naturel d'effectuer le même type de recherche en direction de la 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 appliquée 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 a fait l'objet de la thèse d'*Y. Le Du* (12 mai 2000). Sur les 4 champs centraux, où les données sont les meilleures, nous avons détecté 7 événements compatibles avec des effets de microlentille. L'analyse de courbes de lumière obtenues avec les données de Kitt Peak a permis de rejeter 5 de ces candidats parce qu'ils présentaient de nouvelles variations importantes au cours de l'année 1999. L'un des 2 événements retenus est extrêmement court (largeur à mi-hauteur en temps de 5,3 jours), et il ne peut pas être interprété comme une variable de type connu en particulier en raison de sa couleur trop bleue ($B - V \approx 0.8$) ni comme une nova. Son interprétation la plus vraisemblable est un effet de microlentille et il a fait l'objet d'une publication séparée.

De nombreux travaux de stage de maîtrise de physique ont été proposés autour de l'analyse de ces données (*F. Baron, D. Louapre, N. Iro*)

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.

Dans cette optique, en collaboration avec des chercheurs de Cambridge, Oxford et La Palma, nous avons obtenu, en 1999, des observations sur 56 nuits, réparties sur 5 mois, avec la

caméra à grand champ WFC montée sur le télescope de 2,5 m Isaac Newton (INT), à La Palma aux îles Canaries. L'ensemble INT/WFC a un champ de $33' \times 33'$ (50 fois le champ du Pic du Midi). Chaque nuit, des images de 2 champs sont prises, couvrant la quasi-totalité de la galaxie d'Andromède. Les images sont prises en 3 couleurs. Le volume de données est important, et l'analyse n'a encore commencé que sur un sous-ensemble restreint. Les premiers résultats sont très encourageants, puisque de nombreuses étoiles variables ont aisément pu être détectées, ainsi que des candidats microlentilles. *S. Paulin-Henriksson* a commencé sa thèse de doctorat en analysant ces premières données. Cette campagne d'observations est coordonnée avec l'équipe américano-néerlandaise MEGA, avec laquelle nous mettons les données en commun, même si, ici encore, deux analyses complètement indépendantes sont menées en parallèle. Une demande, déposée pour une seconde campagne d'observations en 2000 et absolument indispensable pour éliminer les étoiles variables périodiques qui constituent l'essentiel du bruit de fond, vient d'être acceptée. Ce programme constitue l'essentiel de notre activité AGAPE.

Par ailleurs, nous collaborons, pour optimiser l'ensemble de la chaîne, avec des chercheurs américains (Columbia, Ohio State) et italiens (Salerno, Capodimonte). Des données de M31 ont été prises en 1998 et 1999 sur le télescope de 1,3 m « Michigan-Dartmouth-MIT » à Kitt Peak (Arizona) dont le champ est de $17' \times 17'$ (16 fois le champ que nous avons au Pic du Midi). Plusieurs images sont prises chaque nuit, ce qui permet deux types différents de recherche selon que les images d'une même nuit sont compositées ou non, ce qui modifie les caractéristiques du bruit. Ces données sont analysées par nos collaborateurs italiens. Un étudiant en thèse de Salerno *S. Calchi-Novati*, a passé plusieurs mois au Laboratoire pour se familiariser avec nos méthodes, et il les applique aux images non compositées. D'autres chercheurs de l'université de Salerno et de l'observatoire Capodimonte de Naples analysent les images compositées, en contact étroit avec nous. Parallèlement, les équipes américaines analysent les mêmes données, en utilisant une méthode totalement différente.

Nous nous sommes aussi associés à une demande de temps auprès du *Hubble Space Telescope* (HST) pour surveiller la galaxie M87 qui se trouve au centre de l'amas de la Vierge, et y détecter des événements de microlentille. Cette demande, pilotée par Joseph Silk de l'université de Californie à Berkeley et de l'université d'Oxford, a été retenue avec une attribution de 30 orbites durant le 9^{ème} cycle du HST (12 mois à partir de juillet 2000).

C. Lamy contribue à ce programme pour le traitement des données.

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

5.2.1 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 – acronyme anglais : CMB) 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 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 multipolaire des anisotropies, où sont attendus les premiers « pics Doppler », dont la position et l'amplitude sont des informations capitales pour comprendre l'origine des fluctuations primordiales et mesurer les paramètres cosmologiques. Très récemment, les expériences en ballon BOOMERANG et MAXIMA, en détectant nettement un excès de fluctuations à l'échelle du degré, ont permis de confirmer que la courbure spatiale de l'univers est nulle ($\Omega_m + \Omega_\Lambda \approx 1$), confirmant l'une des prédictions les plus fortes de l'inflation.

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 une large fraction du ciel. Pour atteindre ce niveau de sensibilité, 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 restreinte 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, permettant ainsi de vérifier les résultats obtenus par l'observation des supernovæ lointaines.

L'équipe de cosmologie observationnelle du Laboratoire participe à l'instrument haute fréquence (HFI) du projet PLANCK sous deux de ses aspects : d'une part, en collaboration avec l'IAS, 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 sur ballon ARCHEOPS, qui reprend d'ailleurs un nombre d'éléments préparés pour PLANCK, dont le premier vol technique a eu lieu en juillet 99 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 à partir de décembre 2000 depuis la base de lancement de Kiruna en Suède. Le groupe est impliqué dans la préparation de ce vol scientifique – avec notamment la mise au point du système de télécommande du ballon au moyen d'une liaison par satellite, dans la réalisation de la mémoire de masse embarquée et dans la préparation de l'analyse en temps réel et du traitement des données.

5.2.2 Etalonnage global de l'instrument Planck-HFI

Au sein du consortium PLANCK nous avons choisi de prendre en charge avec l'IAS d'Orsay la calibration au sol et en vol du détecteur HFI (*High Frequency Instrument*). Au sol le travail consistera en la mise en place d'un cryostat d'étalonnage à l'IAS qui devra être capable

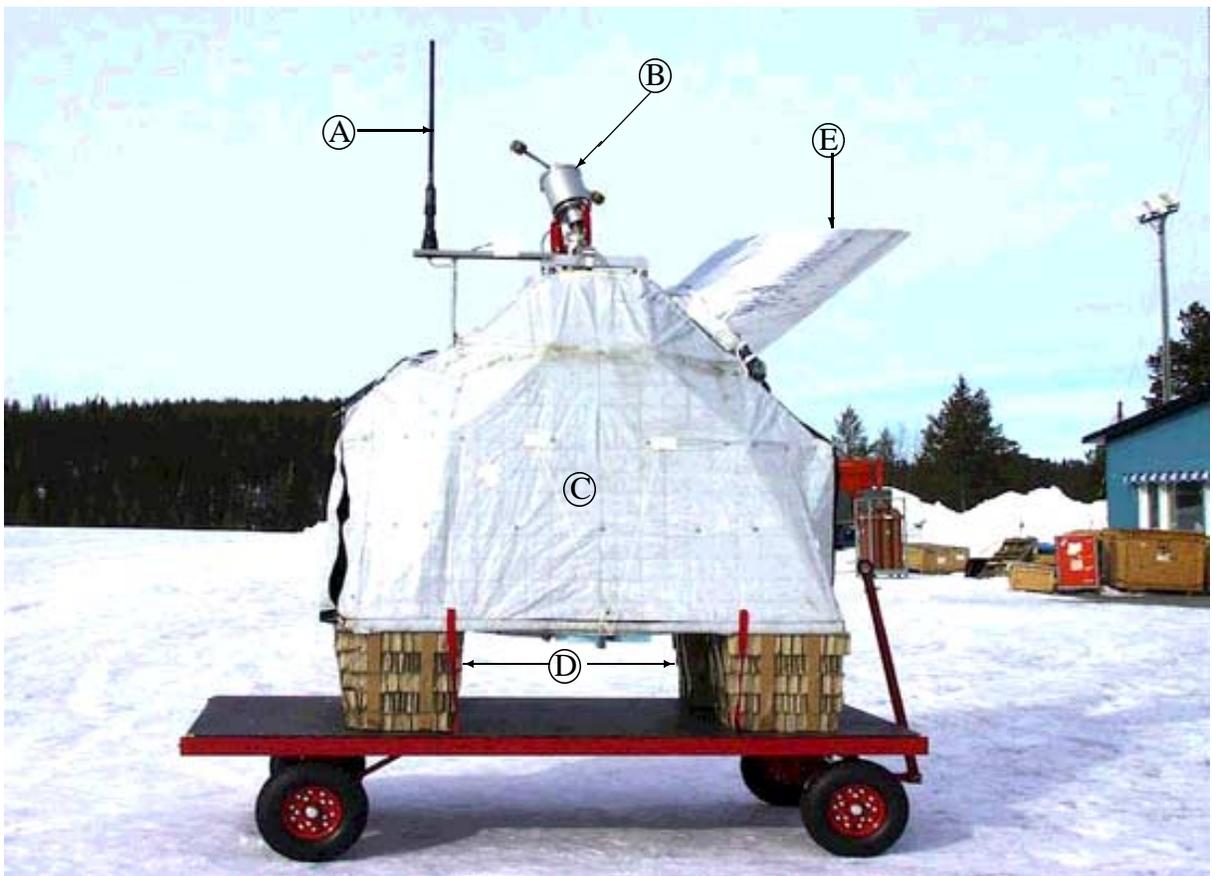


FIG. 10: La nacelle d'ARCHEOPS prête au départ pour un vol technique d'essai à la base de Kiruna, le 4 avril 2000

- | | |
|--|--------------------------------------|
| Ⓐ – Antenne de télémétrie par satellite | Ⓑ – Point de suspension rotatif |
| Ⓒ – Protection solaire aluminisée | Ⓓ – Amortisseurs pour l'atterrissage |
| Ⓔ – Ouverture du télescope « senseur stellaire » | |

d'accueillir dès avril 2002 le modèle de démonstration puis le modèle de vol en juillet 2003.

Pour ce faire, les travaux de mise en conformité des installations cryogéniques existantes (cuve Saturne) et de conception du système optique de calibration au sol se poursuivent en étroite collaboration avec l'IAS. La réalisation et l'exploitation d'un programme de simulation nous a permis d'établir une configuration répondant à la fois aux impératifs scientifiques de calibration et aux contraintes technologiques liées à l'utilisation de la cuve Saturne.

Ce travail se poursuit avec une implication croissante des ingénieurs du Bureau d'Etudes qui travaillent sur l'implantation du système optique dans la cuve. Une partie du dispositif, la roue porte-polariseurs, est réalisée en collaboration avec une équipe de cinq étudiants de l'Ecole Centrale de Lille dans le cadre de leur projet d'études sur une période de deux ans. Le pilotage de toute l'installation du système optique est à la charge de notre service informatique.

En parallèle, dans le cadre de la R & D sur la sphère intégratrice travaillant dans le domaine des longueurs d'onde millimétriques, la réalisation d'un banc optique dans ce domaine s'achève sous le pilotage de *J.-C. Vanel*. Les premières mesures de diffusion sont prometteuses quant aux capacités de ce banc optique.

Contributions de *D. Broszkiewicz, A. Faye, L. Guglielmi, P. Guillouët, D. Imbault* et *B. Yoffo* au Laboratoire, et de *E. Artarit, D. Caretti, T. Guglielmi, G. Lorgeton, D. Tanguy* à l'École centrale de Lille.

5.2.3 ARCHEOPS : cryostat d'étalonnage et mémoire de masse

La contribution du Laboratoire à la construction de l'instrument ARCHEOPS s'est faite sur trois points :

- ▷ La participation à l'étalonnage de l'instrument, avec notamment la modification du cryostat d'étalonnage et la réalisation d'une table *XY* devant supporter un système optique d'étalonnage des polariseurs en vue du prochain vol en décembre 2000 (contributions de *D. Imbault* et *P. Repain*).
- ▷ La fabrication (en sous-traitance) de polariseurs, dont les caractéristiques ont été établies à partir de simulations numériques (contributions de *D. Imbault* et *P. Repain* ainsi que des étudiants de l'École Centrale de Lille.)
- ▷ La conception et la réalisation de l'enregistreur de bord, basé sur un microcontrôleur IBM-PowerPC 403 GA et de mémoires flash de 8 Mo. Cet enregistreur s'est avéré être d'une importance cruciale pour la réussite du vol technique de juillet 1999 à Trapani (contributions de *C. Boutonnet, B. Courty, G. Desplancques, J. Vergne* sous la responsabilité de *L. Guglielmi*).
- ▷ afin de disposer d'une télémétrie fiable pendant toute la durée du vol, ce qui n'est pas possible avec la télémétrie terrestre standard, le Laboratoire a étudié l'utilisation du système de téléphone mobile par satellite INMARSAT MINIM. Deux tests ont été réalisés en mars et mai 2000, et ont permis de vérifier la souplesse et la fiabilité de ce système, qui sera utilisé lors des vols de physique. Le seul point faible est l'antenne fournie par le constructeur, qui, bien qu'elle ait fonctionné correctement, n'est pas complètement adaptée à nos besoins. Une collaboration avec un laboratoire de l'Université de Rennes est en cours pour l'étude et la réalisation d'une antenne mieux adaptée (contributions de *L. Guglielmi* et de *C. Dufour*).

5.2.4 Simulations et mise au point de méthodes de traitement de données

Le traitement des données de mesures des anisotropies du FCRM est un problème complexe.

À l'émission due aux fluctuations de température du fond cosmologique viennent en effet se superposer des émissions parasites d'origines très diverses : émission des poussières interstellaires, émissions de bremsstrahlung ou synchrotron des électrons libres dans un milieu interstellaire ionisé et magnétique, émission de sources extra-galactiques (radio-sources, galaxies infrarouges, amas de galaxies). À ces fluctuations d'origine astrophysique viennent s'ajouter, le cas échéant, l'émission terrestre ou atmosphérique, et un certain nombre d'effets d'origine instrumentale, comme l'émission propre de l'instrument, les effets de lobes secondaires des antennes ou les effets de dérive à basse fréquence du signal.

Cette année, notre groupe a poursuivi le travail de fond sur la mise au point de méthodes générales de traitement des données. Nous avons poursuivi notre effort de simulation d'observations astrophysiques et sur l'étude de la séparation de ces composantes 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 (objet du stage de DEA de *G. Patanchon*).

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. De plus, elle prend explicitement en compte les propriétés d'échantillonnage des cartes et des séquences temporelles pour la modélisation des effets et l'optimisation du filtre à appliquer. Ce travail est une étape importante 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, en utilisant les redondances temporelles caractéristiques de l'acquisition.

Dans le cadre général de la mise au point de méthodes de traitement de données pour les anisotropies du CMB, nous avons déposé auprès du Ministère une proposition d'ACI, en collaboration avec deux chercheurs de l'ENST (Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications) et un chercheur du DAPNIA.

5.2.5 Analyse des données du vol technique d'Archeops

Notre groupe participe fortement à la réduction des données prises durant le vol technique du ballon ARCHEOPS : estimation des effets atmosphériques, soustraction des effets systématiques, suppression des effets dus à l'énergie déposée par les cosmiques dans les données.

En particulier, à partir de l'observation des planètes Jupiter et Saturne, nous avons réalisé la mesure de la géométrie des observations (dispositions relatives des directions de pointage des différents détecteurs), ainsi que la calibration des différents canaux à partir de ces mêmes observations, étape importante de la première phase d'analyse des données.

En parallèle, nous travaillons à la soustraction des dérives de basse fréquence et des effets systématiques synchrones avec la rotation de la nacelle, par des méthodes de décorrélation multi-canaux. Ce travail a permis de réaliser un étalonnage préliminaire à partir de l'observation du dipôle, qui doit être comparé aux valeurs obtenues en utilisant les planètes pour comprendre la forme des lobes proches de notre instrument. L'analyse du niveau de sensibilité finale, obtenu à partir de l'étalonnage et de premières versions de la chaîne de traitement, montre qu'ARCHEOPS a la sensibilité requise pour contraindre le spectre des anisotropies à toutes les échelles angulaires entre $15'$ et 20° .

5.2.6 La mesure de la polarisation du FCRM

Depuis 1999, le travail sur la préparation des mesures de polarisation du FCRM continue, en vue des missions sur satellite PLANCK et sur ballon ARCHEOPS. Ces travaux se font en collaboration avec des chercheurs du LAL à Orsay, de l'ISN et de l'Observatoire à Grenoble.

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 multipolaire des fluctuations, ce qui est très important pour en identifier l'origine. On pourra ainsi identifier la contribution des ondes gravitationnelles aux fluctuations primordiales. La connaissance de la polarisation sera aussi une aide importante pour caractériser et séparer les bruits d'avant-plan.

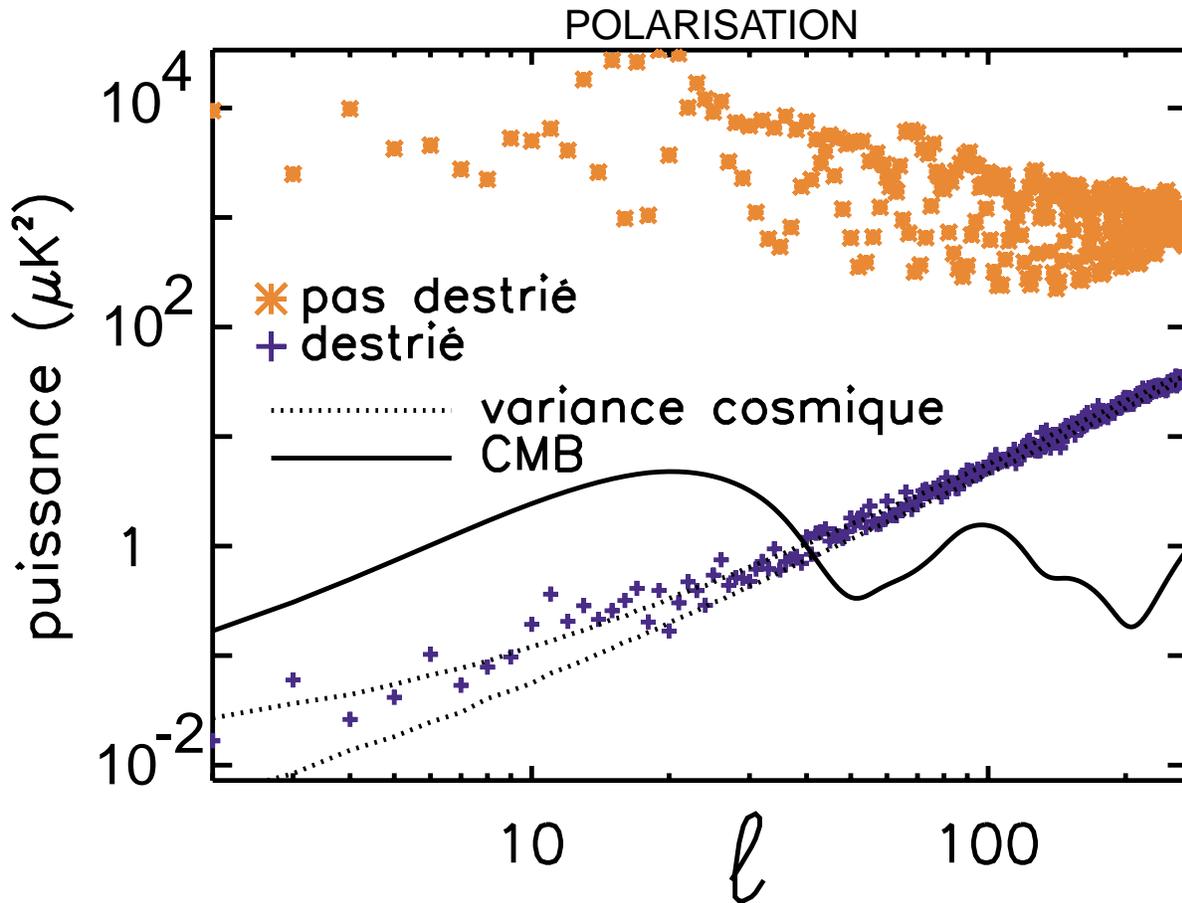


FIG. 11: Qualité du déstriage appliqué à la polarisation E pour le satellite PLANCK, en fonction de l'ordre multipolaire ℓ . Le niveau du bruit attendu pour le signal déstrié, débarrassé de ses composantes de basse fréquence, qui se manifestent surtout pour de petits ℓ , atteint pratiquement la limite donnée par la variance du signal cosmique.

Soustraction des bruits de basse fréquence Le travail sur l'élimination des bruits de basse fréquence des données polarisées, déjà entrepris l'année précédente a été poursuivi et finalisé. Il a donné lieu à une publication et constitue l'essentiel du travail de thèse de *B. Revenu* (mai 2000, Cf. Fig. 11, p. 25).

On parvient à soustraire les bruits à basse fréquence en $1/f$ et $1/f^2$, d'origine essentiellement thermique et électronique, pour se ramener au niveau du bruit blanc, à condition que la « fréquence charnière » soit comparable ou inférieure à la fréquence de balayage du ciel. Ce travail constituera la base de l'extraction des bruits des données polarisées que fournira la mission PLANCK.

Calibration et effets instrumentaux Une étude est en cours pour déterminer les contraintes que doivent satisfaire les polarimètres pour permettre de mesurer les polarisations attendues. Les résultats préliminaires montrent qu'une connaissance des orientations des polarimètres à quelques degrés près suffit à réduire l'erreur systématique en-dessous de l'erreur statistique. On constate aussi qu'un taux de polarisation croisée de 10 % augmente d'à peu près autant l'erreur statistique et que l'incertitude sur ce taux joue un rôle négligeable.

Parallèlement, une étude est en cours sur la façon de calibrer les polarimètres qui seront embarqués sur le ballon ARCHEOPS. En vue de construire des polariseurs de calibration, une étude sur le sujet a permis de réaliser des simulations numériques permettant de déterminer avec précision les caractéristiques requises pour différentes longueurs d'onde. Leur construction par des méthodes du type photolithographie sont actuellement envisagées. Un protocole permettant de calibrer à la fois les polariseurs de calibration et les polarimètres de l'instrument a été mis au point.

5.2.7 Contribution à l'analyse des données de l'expérience COSMOSOMAS

Dans le but d'appliquer les méthodes développées à de vraies données, nous nous sommes impliqués dans l'analyse de données prises avec l'instrument COSMOSOMAS, expérience hispano-anglaise installée sur le site de Tenerife au Canaries. Ce travail, qui a fait l'objet d'une partie de la thèse de *B. Revenu*, a contribué à améliorer la soustraction d'effets parasites dans les données de COSMOSOMAS.

5.3 Automatisation d'un télescope de 55 cm au Pic du Midi

Les travaux de restauration de l'observatoire du Pic du Midi qui se sont poursuivis et achevés cette année ont considérablement ralenti les travaux de remise en état du télescope de 55 cm (T55).

L'ambitieux programme de recherche automatique de supernovæ proches avec le T55 n'a pu être entrepris et l'utilisation du télescope sera réorientée sur d'autres programmes : Il pourrait par exemple contribuer au suivi de la variation lumineuse des noyaux actifs de galaxies (AGN) en concomitance avec les variations d'émission gamma qui sont observées en continu par les expériences CAT et CELESTE auxquelles le Laboratoire contribue.

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 ; il pourrait également servir de matériel de travaux pratiques réalistes pour des étudiants de licence et maîtrise.

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

- ▷ construction et mise en œuvre d'un nouveau système d'entraînement en ascension droite, pour corriger les oscillations constatées
- ▷ mise en place d'une raquette de réglage manuel permettant une mise en station visuelle déportée de la commande informatique
- ▷ fin de l'écriture des programmes de contrôle et de pointé automatique ainsi qu'enregistrement des données de caméra CCD. Ceci est réalisé par deux PC couplés, reliés au réseau Renater, en vue d'une exploration, à terme, entièrement automatisée.

Le télescope rentre maintenant dans la phase terminale de mise au point et calibrage : mise en station, corrections des déformations mécaniques, corrections de suiviage... et sera opérationnel dans les mois à venir, l'achèvement des travaux de réhabilitation du Pic du Midi et de son moyen d'accès rendant son exploitation possible.

Contributions de *A. Faye, L. Guglielmi, D. Marchand, D. Monnot, J.-P. Rény* et *J. Waisbard*.

Les physiciens, étudiants, post-doctorants et visiteurs qui ont participé dans l'année aux travaux du groupe de cosmologie observationnelle du Laboratoire sont :

A. Amblard, P. Bareyre, A. Bouquet, S. Calchi-Novati, J. Delabrouille, K. Ganga, C. Ghesquière, Y. Giraud-Héraud, J.-C. Hamilton, J. Kaplan, A. Kim, Y. Le Du, M. Crézé, S. Paulin-Henriksson, B. Revenu et *J.-C. Vanel*

6 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 184 GeV en 1997, 189 GeV en 1998 et 202 GeV en 1999. Les premières collisions de l'année 2000 ont eu lieu à 205 GeV et l'énergie maximale de cette dernière année de fonctionnement du LEP devrait dépasser 210 GeV.

Le changement d'orientation scientifique du Laboratoire nous conduit à nous désengager graduellement de nos responsabilités dans DELPHI, notre activité s'y concentre maintenant sur le suivi du fonctionnement du matériel construit par le Laboratoire.

Le détecteur de vertex au silicium installé au printemps 1997 et 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.

J.-M. Brunet et *G. Tristram* consacrent une partie de leur temps pour permettre au Laboratoire d'honorer ses engagements jusqu'à la fin de l'expérience.

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

7 Activités en mécanique

Le service de mécanique s'est investi, ou continue de s'impliquer, dans les expériences qui suivent :

CHOOZ :

L'expérience, qui a duré cinq ans au total et a donné d'excellents résultats, a été démontée en 1999.

(P. Guillouët, F. Lelong, D. Marchand, J.-P. Rény, P. Salin)

T55 :

La phase de mise au point du télescope est terminée.

(D. Marchand, J.-P. Rény)

Gammas cosmiques (LIDAR) :

La réalisation du Lidar, en vue de permettre un meilleur étalonnage de l'ensemble des détecteurs du site de Thémis, est en cours d'achèvement.

L'étude générale de l'instrument est terminée depuis le début de l'été 99, de même que la réalisation et le pré-montage de la monture alt-azimutale. La réalisation et le pré-montage du fût du télescope, des tables de l'optique de détection et du laser, ont été achevés à l'automne. En parallèle, sur le site de Thémis, la fondation et le mur d'enceinte étaient réalisés au milieu de l'été 99 (2 m de hauteur sur 2,4 m de diamètre). Début septembre 99, nous avons installé la monture alt-azimutale. Le mois suivant, nous avons monté la coupole sur cette monture. Dès que cet ensemble s'est trouvé à l'abri des intempéries, nous avons pu installer toutes les structures annexes puis les dispositifs d'entraînement en azimut, en site et en ouverture de cimier, ainsi que le sac d'isolement. Ce sac, fixé sur le pourtour de l'ouverture de la coupole, autour du fût du télescope, permet, cimier ouvert, d'avoir l'optique principale à la température extérieure, tout en conservant l'environnement du laser à une température régulée aux alentours de 18°. Au printemps 2000, nous étions prêts à mettre en place les miroirs primaire et secondaire, ainsi que l'optique de détection et le laser. Les alignements optiques ont commencé, et seront probablement achevés à l'automne. L'automatisation est également terminée et fonctionnera sans doute à la même époque.

(F. Lelong, D. Marchand, J.-P. Rény)

Astronomie gamma :

HESS : Les caméras des 4 télescopes de HESS comporteront au total 3 200 cônes de Winston pour collecter au mieux la lumière Cerenkov sur chacun des photomultiplicateurs associés aux miroirs élémentaires.

La validation de ces cônes de Winston nécessitera un premier type de test sur des échantillons prélevés dans les lots de fabrication. Une cinquantaine de collecteurs sera ainsi contrôlée. Le principe de ces tests est le suivant : la lumière Cerenkov est simulée par un faisceau de lumière homogène, réalisé par réflexion d'une source ponctuelle sur un réflecteur parabolique de 20 cm de diamètre. Ce faisceau est projeté à la fois sur l'ensemble cône-photomultiplicateur et sur un photomultiplicateur de référence. Une roue à 5 doubles filtres permettra l'étude à 5 longueurs d'onde différentes. Le faisceau prendra des inclinaisons différentes par pas de 2° de 0° à 40°. Le collecteur pourra tourner sur lui-même sur 360° avec une position tous les 18°.

Un étalonnage de tous les cônes se fera par un second test dont le principe est le suivant : un écran lumineux hexagonal de 120 cm de hauteur simulera le miroir à facettes de l'un des télescopes. Cet écran sera placé à 300 cm devant l'ensemble des photomultiplicateurs de test et de référence à travers les 5 doubles filtres, mais les cônes resteront immobiles.

Ce banc de tests sera constitué de plusieurs dispositifs amovibles permettant deux types de test. Le premier sera composé d'un distributeur à 5 collecteurs, d'un bloc à photomultiplicateurs, d'une roue à filtres, d'un réflecteur. Le second sera composé d'un distributeur à 30 collecteurs, du même bloc à photomultiplicateurs, de la roue à filtres et de l'écran lumineux. Ce banc, dans l'une ou l'autre configuration, sera placé dans une chambre obscure. Les différents mouvements seront actionnés par des vérins pneumatiques commandés par un PC.

Les études et les réalisations mécaniques de ce banc sont en cours d'achèvement. L'automatisation du banc devrait se réaliser à l'automne.

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

GLAST : un banc de test permettant d'optimiser la liaison des cristaux de CsI et des diodes qui collectent le signal est en cours d'étude.

(*M. Gladioux*)

HELLAZ :

Après la construction de l'enceinte permettant la mise en équilibre des mélanges gazeux, un ingénieur continue à fournir actuellement un travail conséquent de R & D.

(*M. Gladioux, P. Guillouët, P. Salin*)

ARCHEOPS :

Etude et réalisation, en collaboration avec un technicien du LPNHE de Jussieu (Ph. Repain), d'une table XY permettant d'effectuer l'étalonnage des polariseurs (*D. Imbault*). Le travail sur cet appareil, ainsi que notre contribution à PLANCK, est réalisé en étroite collaboration avec *J.-C. Vanel*.

PLANCK :

Le bureau d'études, en interaction avec des étudiants de l'Ecole Centrale de Lille en ce qui concerne le polariseur et l'IAS d'Orsay, est fortement impliqué dans l'étude de la réalisation et de l'implantation des éléments du système optique de la cuve cryogénique. Des simulations par éléments finis permettent d'optimiser les éléments (sphère intégratrice, miroir, système porte-polariseurs). Un banc de test dédié à l'étude des surfaces dans le domaine des ondes millimétriques est opérationnel.

(*P. Guillouët, B. Yoffo*)

Pour les études, le service utilise essentiellement les logiciels EUCLID pour la CAO, ACORD et SYSTUS pour les calculs.

Les prototypes sont usinés sur les machines classiques et la fraiseuse à commande numérique de l'atelier.

Pour accompagner la réorientation du Laboratoire dans le domaine des astroparticules et pour préparer l'implantation sur le site de Paris-Rive gauche à Tolbiac, un effort important de formation est entrepris et va se poursuivre, notamment pour les salles propres, le calcul, la cryogénie, le vide ainsi que dans le domaine de l'assurance-qualité et la gestion de projets.

Les mécaniciens du Laboratoire présents dans la période de référence sont :

A. Diaczek, M. Gladioux, P. Guillouët, D. Imbault, F. Lelong, D. Marchand, M. Pairat, J.-P. Rény, P. Salin et B. Yoffo.

8 Activités en électronique

Restructuré en service depuis 3 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. L'activité « études et réalisations électroniques » demeure indispensable dans un laboratoire de physique expérimentale, d'autant plus que les objectifs issus de la restructuration sont très ambitieux et variés quant aux techniques à mettre en œuvre.

De 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 la réalisation et

le suivi de leurs projets.

Globalement le nombre d'électroniciens demeure sous-critique par rapport aux besoins des développements demandés par les expériences.

8.1 Participations récentes aux expériences

T55 : Participation aux installations sur site des systèmes électromécaniques de commande du télescope T55 au Pic du Midi.

CELESTE : Rénovation totale des commandes des héliostats sur le site de Thémis :

Modifications des commandes de puissance des moteurs

Etude du système numérique de contrôle/commande et d'asservissement de ces moteurs (microprocesseur 68332).

Mise au point d'un système de télécommunications par liaison hertzienne à 433 MHz 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 20 unités prévue en 2000

LIDAR : Installation électrique et câblage de l'ensemble

HELLAZ : 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 du 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)

BOREXINO/LENS : Finalisation de la carte flash ADC réalisée en partenariat avec CAEN (Cf. Fig. 7, p. 15).

PLANCK : Démarrage des activités induites par les prises de participation du Laboratoire dans les expériences PLANCK et ARCHEOPS.

Pour ARCHEOPS : après le succès d'un vol d'essai en mars 2000, fabrication d'une seconde génération du système embarqué de stockage des données (mémoires flash à semi-conducteurs de 4 Go). Ce système est conçu autour d'un micro-contrôleur du type POWERPC 403

AUGER : Le Laboratoire prend une charge de plus en plus importante dans les définitions et/ou les réalisations connexes des stations locales :

Etude et réalisation d'une carte d'acquisition et de dialogue à base de micro-contrôleur POWERPC 403, pour le contrôleur de station locale (2×1600 exemplaires prévus). Evolution des premiers prototypes. Liaison avec la carte de « time-tagging » de Besançon, avec le « slow-control ».

Etude d'un second prototype de carte time-tagging, avec des FPGA plus performants.

Participation à la définition de la partie « front-end ».

Fabrication de 40 prototypes prévus pour la fin 2000.

Conception d'un ASIC en collaboration avec l'Observatoire de Besançon, pour remplacer les FPGA dans les versions définitives.

Etablissement d'un cahier des charges pour la soumission auprès d'industriels de la fourniture et de l'installation sur site d'une liaison hertzienne à fort débit.

8.2 Activités d'intérêt général

Le service tient un séminaire interne d'information, par exemple « Introduction au langage VHDL » (*M. Abbès*)

Un AI informaticien, assure – à temps partiel – pour l'ensemble du groupe électronique le fonctionnement et la mise à jour des logiciels des 5 postes d'IAO/CAO électronique : implantation de circuits imprimés (ALLEGRO), simulation logique (Verilog) et analogique, PIC designer, SYNOPSIS, ALTERA, etc.

Un TP électronicien assure la gestion du magasin : stock courant, commandes, maintenance, documentation, etc., pour l'ensemble du groupe, tout en participant sur site à l'installation des expériences : T55 (Pic du Midi) – mise en place.

Deux personnes (un TP et un T) assurent la Conception Assistée par Ordinateur (ALLEGRO) de toutes les cartes de circuits imprimés 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.*

9 Activités en Informatique

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.

9.1 Evolution des infrastructures

9.1.1 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.

9.1.2 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/PIII-750/LINUX et un PC/PII-450/LINUX puissants et modernes, assurent les services généraux (service aux terminaux X et postes de travail, infrastructure logicielle, bibliothèques générales, impressions diverses, sauvegarde des données et des programmes) ainsi que la mise au point des programmes d'analyse. Le dernier, doté de 1 Go de mémoire, sert de support aux applications de traitement d'images.
- ▷ Deux ALPHA/OSF1 dédiées à la CAO mécanique (logiciel DEC-UNIX).
- ▷ 5 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.
- ▷ Environ 50 postes de travail (PC sous LINUX) et 30 Macintosh sous Mac OS.
- ▷ Environ 30 terminaux X.
- ▷ 6 imprimantes laser noir et blanc et 2 imprimantes couleur 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.

9.1.3 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 postes de travail autonomes. L'équipement s'est poursuivi 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, postes de travail) 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 régulièrement) 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. L'adresse du Laboratoire est <http://cdfinfo.in2p3.fr>.

Le laboratoire a apporté un soutien important à l'installation au Collège de France d'un serveur Web (<http://www.college-de-france.fr>), toujours temporairement accueilli sur le serveur du Laboratoire.

9.2 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 en 1999 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.

10 Services généraux

Sans l'action efficace et discrète des services généraux du Laboratoire, celui-ci serait dans l'incapacité de fonctionner. Le Directeur du Laboratoire, *D. Vignaud*, se fait un plaisir de citer :

Secrétariat administratif et scientifique :

K. Boulhouchat, C. Bréon-Hussenot, F. Cardoso, D. Cerverra, H. Le Bihan, C. Masson, M. Piochaud et S. Poulain.

Bibliothèque et Documentation :

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

Service intérieur :

H. Ahamada, E. Demange, J. Le Fur et S. Néchal.

Sécurité :

O. Sokolsky, au Laboratoire et sur le site de Thémis en général.

A L'effort de formation au Laboratoire

Dans les années 1970, après l'utilisation des chambres à bulles, les techniciens qui traitaient les clichés ont dû être reconvertis. Un travail important a été fait à cette époque avec l'aide du CNRS. Au Laboratoire, il a orienté vers des professions variées : informatique, documentation, administration.

L'IN2P3 a ensuite développé son Service de Formation, notamment ses Ecoles thématiques. Puis le Collège de France a organisé la formation continue pour ses propres personnels, parfois (hygiène et sécurité) pour l'ensemble des agents travaillant sur place.

Les ingénieurs ont reçu en premier des formations techniques, puis les techniciens, qui ont bien des possibilités. Pour l'année qui vient de s'écouler, on constate un fléchissement très net de notre participation aux écoles de l'IN2P3 ; cela peut s'expliquer par le très faible nombre de recrutements sur concours ou en CDD. Il reste que 58 % des ITA sont allés en formation.

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.

Pour l'ensemble du Laboratoire on peut recenser **200 journées de stages ou écoles, et au total 1611 heures** car il y a aussi les cours de langues à raison de 2 à 4 heures par semaine (débutants ou perfectionnement) pour faciliter les collaborations internationales ou tout simplement l'accueil de visiteurs étrangers.

Il est toujours difficile d'aborder le sujet de la formation pour les chercheurs car celle-ci est inhérente à leur métier et certains ont quelques réticences devant le désir de la quantifier . . . Pourtant, les Rencontres de Moriond, les Ecoles Thématiques organisées par les Départements mais aussi l'animation des équipes ou un apprentissage plus rapide de l'utilisation de nouveaux langages informatiques les motivent de plus en plus et la moitié des chercheurs (Statutaires + Visiteurs + Thésards) a suivi une formation dans les 12 derniers mois.

Le Plan Triennal de Formation du CNRS a été prolongé d'un an et court donc jusqu'à la fin de l'année 2001. Pour l'année prochaine il faudra, en étroite corrélation avec le programme scientifique, réexaminer les grands axes en tenant compte des Ressources Humaines disponibles et c'est un travail pour la Direction du Laboratoire.

B Ouverture du Laboratoire vers l'extérieur

B.1 Conférences internationales

On consultera avec profit sur ce sujet la liste des présentations faites par ou avec la collaboration de membres du Laboratoire (Cf. sect. D.2, p. 44), ainsi que celle des présentations faites directement par un d'entre eux (Cf. sect. D.3, p. 46).

B.2 Fonctions d'intérêt scientifique général

P. Bareyre : «Lumière et gravitation de Laplace à nos jours», contribution au colloque «Laplace et son temps» (Caen, 13-14/10/99)

A. de Bellefon : participation à la rédaction d'un ouvrage collectif sur la physique des particules (Belin).

- Membre du Comité de rédaction du bulletin de la Société Française de Physique.
- Membre du Comité d'organisation des rencontres : « Physique et Interrogations Fondamentales » (la sixième, qui doit avoir lieu en novembre à la Bibliothèque Nationale de France aura pour titre « le siècle des quanta »).

A. de Bellefon, C. Bréon-Hussenot : Membres du Comité d'Organisation de TAUP99.

J.-N. Capdevielle : A la demande des Académies des Sciences des Pays d'Amérique Latine, participation à la préparation du 11^{ème} Symposium International des Interactions Cosmiques de Haute Energie (Sao Paulo) et de la Conférence interaméricaine des rayons cosmiques. (La Paz, 15 et 21/7/00) (5 heures d'échanges sur Internet).

- 6 rapports de referee pour *J. Phys. G* dans la période (environ deux jours)
- Président de la Commission de Développement du Pôle Universitaire Tarbais entre enseignants, chercheurs, industriels et élus (Loi d'Aménagement du Territoire, Juillet 99). Préparation d'une Université Technologique autour de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes, les IUT et les physiciens de l'Observatoire de Midi Pyrénées (plateforme du Pic du Midi). (2 jours/mois)

J. Dolbeau, D. Vignaud : Membres de la Commission 03 du CNRS

M. Froissart : Présidence du Comité d'organisation du Sixième Atelier international sur les Astroparticules et la Physique en Souterrain (TAUP 99), organisé au Collège de France du 6 au 10/9/99 (240 participants).

J.-J. Jaeger : participation à l'organisation de la journée CAO/IAO l'IN2P3 du 24/11/1999 au Collège de France

D. Vignaud : Secrétaire scientifique de l'atelier TAUP 99.

- Rédacteur en chef invité du numéro spécial des Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences : Physique – Astrophysique (Série IV, T.1, N° 2, mars 2000)

B.3 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 :

Citons à ce propos

J.-N. Capdevielle : Poursuite des expositions d'émulsions arméniennes sur Concorde avec *Air France Consulting*, dans la perspective de la directive de la DG XI du 1/5/00 limitant le temps de vol des navigants.

Nous avons pu en mars consolider nos statistiques sur la fenêtre des neutrons de 1 à 10 MeV.

AUGER : réunions de collaboration et projets connexes :

- ▷ Deux réunions générales de collaboration ont eu lieu à Malargüe (Argentine), la première en septembre 1999, la seconde en avril 2000.
- ▷ les lancements préparatoires du ballon-sonde ARCHEOPS, à travers la Méditerranée (de Sicile en Espagne), et les préparatifs à la base de Kiruna (Suède) pour un vol circumpolaire.
- ▷ *J.-N. Capdevielle* a continué à suivre les réunions EUSO (Extreme Universe Space Observatory) où il est impliqué dans les simulations de l'intervalle $10^{20} - 10^{21}$ eV. Ce projet a été approuvé par l'ESA le 15/3 ; Le Laboratoire a financé, avec l'accord de l'IN2P3, la mission pour une réunion de la collaboration à Gênes les 7-8/4/00. L'IN2P3 désignerait F. Vannucci comme responsable d'un développement EUSO/France (1^{ère} réunion au LPNHE le 6/6/00 en vue d'une demande EUSO de 120 kF dans le prochain PPF). Ce travail a nécessité 6 jours (tests de faisabilité de simulation, réunions de Gênes et Paris).

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

Dans un autre registre, signalons :

B. Revenu : Participation aux journées Science et Citoyens à Poitiers (octobre 99)

B.4 Enseignements

M. Abbès : Ecole d'Ingénieurs de l'Université de Paris VI (IFITEP) (4^{ème} année – Maîtrise).
Electronique numérique (Cours et TP sur les Bus et les DSP), 50 h annuelles.

A. de Bellefon : 4-conférences données dans lycées de Paris et de la Région Parisienne dans le cadre de NEPAL.

- Membre d'un groupe de travail européen financé par Bruxelles dans le cadre d'un projet Comenius dont le but est de réaliser un CD-Rom éducatif sur la physique des particules. Le prototype du CD devrait être prêt en octobre 2000.
- sollicité pour être membre du Comité d'Evaluation au sein de Physics On Stage : programme européen en liaison avec la Semaine de la Science en Europe. Ce programme regroupe le CERN, l'ESO, l'ESA et cherche en particulier des initiatives innovantes à l'intention des enseignants pour diffuser l'information scientifique auprès d'un public jeune.

C. Bréon-Hussenot : Animation de stages pour le personnel des laboratoires du CNRS : « Connaissance du CNRS » et « Préparation aux concours »

J.-N. Capdevielle : Examens écrits et oraux de la Maîtrise de Physique (Nucléaire et Particules) pour la session de septembre 99 (2 jours).

Partage avec *J. Cronin* du séminaire sur les enjeux des gerbes géantes pour la physique des énergies ultimes et l'astrophysique (25/3/00, ENIT de Tarbes).

L. Guglielmi : a animé un stage à l'Université de Paris-Sud sur « Théorie et pratique du système OS9 » (5×6 h.)

S. Paulin-Henriksson : Moniteur à l'université de Paris XIII (Bobigny, médecine) Travaux Pratiques et Travaux Dirigés d'optique en 1^{ère} et 2^{ème} année de DEUG bio (DEUG SNV).

1^{ère} année (SNV1) : optique géométrique ;

2^{ème} année (SNV2) : optique physique.

B. Revenu : « Colles » de physique en classe de Mathématiques Spéciales PC*, 2 heures par semaine.

B.5 Accueil de chercheurs

B.5.1 Stagiaires

Nom	Groupe	Dates	Responsable
<i>M. Fabien Baron</i>	Cosmologie	10/5 – 31/7/99	<i>J. Kaplan</i>
<i>M. Fabrice Cohen</i>	AUGER	1/3 – 30/6/00	<i>J.-N. Capdevielle</i>
<i>M. Olivier Danard</i>	Informatique	3/7 – 23/7/99	<i>Ph. Gorodetzky</i>
<i>M. Guillaume Dournes</i>	HELLAZ	25/4 – 30/6/00	<i>P. Salin</i>
<i>M. Stéphane Farges</i>	Neutrinos sol.	17/1 – 28/2/00	<i>H. de Kerret</i>
<i>M. Bertrand Goldman</i>	Cosmologie	21/6/99 – 30/6/00	<i>P. Bareyre</i>
<i>M. Mourad Hamidouche</i>	HELLAZ	6/1 – 30/9/99	<i>Ph. Gorodetzky</i>
<i>M. Nicolas Iro</i>	Cosmologie	10/5 – 31/7/99	<i>J. Kaplan</i>
<i>Mlle Angélique Joinet</i>	HELLAZ	10/5 – 1/8/99	<i>A. de Bellefon</i>
<i>M. Lucas Levrel</i>	Cosmologie	5/6 – 28/7/00	<i>J.-C. Hamilton</i>
<i>M. Marceau Limousin</i>	AUGER	15/1 – 21/7/00	<i>J.-M. Brunet</i>
<i>M. David Louapre</i>	Cosmologie	31/5 – 30/7/99	<i>Y. Giraud-Héraud</i>
<i>M. Nicolas Miletic</i>	Neutrinos sol.	2/5 – 31/7/00	<i>Ph. Gorodetzky</i>
<i>M. Guillaume Patanchon</i>	Cosmologie	13/3 – 10/7/00	<i>J. Delabrouille</i>
<i>Mlle Isabelle Penséc</i>	Informatique	3/1 – 17/2/00	<i>C. & D. Poutot</i>
<i>M. Bastien Pigeyre</i>	Neutrinos sol.	25/4 – 30/6/00	<i>P. Salin</i>
<i>M. Nicolas Pochat-Pochatoux</i>	CHOOZ	2/5 – 31/8/99	<i>H. de Kerret</i>
<i>Mlle Andry Rakotozafindrabe</i>	Cosmologie	26/6 – 30/7/00	<i>A. Bouquet</i>
<i>Mme Cristina Régoa Matos Afonso</i>	Cosmologie	21/6/99 – 30/6/00	<i>P. Bareyre</i>
<i>M. Romaric Thevenet</i>	Neutrinos sol.	9/5 – 31/8/00	<i>A. de Bellefon</i>
<i>M. Moudheur Zarroug</i>	Cosmologie	26/6 – 31/8/00	<i>Y. Giraud-Héraud</i>

B.5.2 Thésards

Nom	Groupe	Directeur de thèse
<i>M. Alexandre Amblard</i>	Cosmologie	<i>Y. Giraud-Héraud</i>

<i>M. Tristan Beau</i>	Neutrinos solaires	<i>H. de Kerret</i>
<i>M. Sebastiano Calchi Novati</i>	Cosmologie	<i>Y. Giraud-Héraud</i>
<i>M. Bruno Khelifi</i>	Astronomie gamma	<i>M. Punch</i>
<i>M. Yann Le Du</i>	Cosmologie	<i>Y. Giraud-Héraud</i>
<i>M. Filip Münz</i>	Astronomie Gamma	<i>P. Espigat</i>
<i>M. Stéphane Paulin-Henriksson</i>	Cosmologie	<i>J. Kaplan</i>
<i>M. Benoît Revenu</i>	Cosmologie	<i>J. Kaplan</i>
<i>M. Antony Sarrat</i>	Neutrinos solaires	<i>J. Dolbeau</i>
<i>M. Régis Terrier</i>	Astronomie gamma	<i>A. Djannati-Ataï</i>

B.5.3 Post-Doctorants et visiteurs

Nom	Groupe	Dates
<i>M. Alexandre Chekhtman</i>	Astronomie gamma	1/2/00 – 2001
<i>M. Alexandre Etenko</i>	CHOOZ	5/4 – 11/5/00
<i>M. Kenneth Ganga</i>	Cosmologie	1/9/99 – 2000
<i>M. Jean-Christophe Hamilton</i>	Cosmologie	14/4/99 – 2000
<i>M. Alex Kim</i>	COSMOLOGIE	1/11/97 – 30/10/99
<i>M. Yuri Kozlov</i>	CHOOZ	16/11/99 – 15/1/00
<i>Mme Isabella Kurp</i>	AUGER	18 – 28/7/99
<i>M. Corentin Le Gall</i>	AUGER	15/4 – 11/9/99
<i>M. Conor Masterson</i>	Astronomie gamma	22/11/99 – 2000
<i>M. Alessandro Razeto</i>	Neutrinos solaires	31/5 – 5/6/00
<i>M. Andrei Sabelnikov</i>	CHOOZ	20/3 – 3/4/00
<i>M. Serguei Sukhotine</i>	CHOOZ	1/10 – 30/11/99
<i>M. Jacek Szabelski</i>	Cosmologie	11 – 19/12/99, 11 – 25/6/00
<i>M. Alejandro Veiga</i>	AUGER	13/9 – 15/11/99
<i>M. Tadasz Wibig</i>	AUGER	11 – 19/12/99

B.5.4 Savants visiteurs

<i>M. Pierre Bareyre</i>	Cosmologie	Conseiller scientifique permanent
<i>M. James W. Cronin</i>	AUGER	Chaire Internationale du Collège de France (99-00)
<i>M. Thomas Ypsilantis</i>	HELLAZ	Conseiller scientifique permanent

C Séminaires du Laboratoire

Les séminaires du Laboratoire sont organisés de façon conjointe avec ceux du LPNHE de Paris 6 & 7, et se tiennent alternativement dans les deux laboratoires, avec une insertion mensuelle des séminaires des quatre laboratoires parisiens : laboratoires de physique théorique de Jussieu et de l'ENS, LPNHE, et PCC. Le responsable de l'organisation en est pour le Laboratoire *Ph. Gorodetzky*. On peut retrouver les listes de ces séminaires sur le site WEB du Laboratoire. La liste de ceux qui se sont tenus au Collège de France, dans la période de référence est la suivante :

- Julio Gallegos** : L'expérience COSMOSOMAS
(Instituto de Astrofísica de Canarias) – Mardi 14 septembre 1999
- Paolo de Bernardis** : Premiers résultats du vol du ballon BOOMERANG
(Université La Sapienza - Rome) – Jeudi 16 décembre 1999
- Juan Collar** : SIMPLE and SATAN : two emerging projects in Astroparticle Physics
(Université Paris VII, Denis Diderot) – Jeudi 17 février 2000
- Paul Baillon** : L'oscillation entre les différentes espèces de neutrinos est-elle la seule explication aux résultats de Kamiokande ?
(CERN) – 24 février 2000
- Arnold Wolfendale** : Cosmic Ray Origin : What's New ?
(Physics Department, Durham University, G.B.) – Jeudi 30 mars 2000
- Maurice Jacob** : Physique fondamentale dans l'espace
(CERN) – Jeudi 13 avril 2000
- Sebastian White** : Mesures avec cibles internes sur l'anneau RHIC de Brookhaven
(Brookhaven) – Mardi 25 avril 2000
- Stéphane Le Bohec** : La recherche des trous noirs primordiaux
(Astronomy Department, Iowa State University) – Jeudi 27 avril 2000
- Daniel Denegri** : L'expérience CMS et recherche de la supersymétrie au LHC
(Saclay) – Jeudi 4 mai 2000
- Ken Ganga, Lloyd Knox** : Anisotropies in the Cosmic Microwave Background radiation
(Collège de France et University of Chicago) – Jeudi 11 Mai 2000
- Ulrich Heinz** : « The Little Bang »
(CERN/TH) – Jeudi 18 mai 2000
- Thomas Patzak** : Les Neutrinos atmosphériques, la masse des neutrinos et l'expérience MINOS
(Tufts University) – Lundi 22 mai 2000
- Danièle Imbault** : Regards sur le pilotage de projets scientifiques ...
(Saclay) – Jeudi 25 mai 2000
- Michel Crézé** : Astrométrie Spatiale et Matière Noire : d'Hipparcos à Gaia.
(Université de Bretagne-Sud) – Jeudi 29 juin 2000

D Publications

Les listes suivantes reprennent toutes les productions du Laboratoire qui n'ont pas été mentionnées dans les listes de publications des rapports précédents, et ce jusqu'au 15/5/00. Seuls sont mentionnés le premier auteur et les auteurs membres du Laboratoire (en caractères obliques).

D.1 Articles

D.1.1 Année 2000

- P2** C. Afonso *et al.*, EROS Coll. (*P. Bareyre, A. Bouquet, J.-C. Hamilton*)
Combined analysis of the binary lens caustic crossing event MACHO-98-SMC 1

- P3** T. Lasserre *et al.*, (P. Bareyre, A. Bouquet, J.-C. Hamilton)
Not enough stellar mass machos in the galactic halo
Astronomy & Astrophysics **355** (2000) L39-L42
- P4** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram)
Limits on Higgs Boson Masses and $\tan\beta$ from a MSSM Parameter Scan at
 $\sqrt{s} = 189$ GeV
Accepté par Phys. Lett. **B**
- P5** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram)
 W pair production cross-section and W branching fractions in e^+e^- interactions at
189 GeV
Accepté par Phys. Lett. **B**
- P6** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram)
A Study of the Lorentz Structure in Tau Decays
Accepté par Eur. Phys. J. **C**
- P7** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram)
Search for supersymmetric particles in scenarios with a gravitino LSP and stau NLSP
Accepté par Eur. Phys. J. **C**
- P8** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram)
Hadronization properties of b quarks compared to light quarks in $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$ from 183 to
200 GeV
Accepté par Phys. Lett. **B**
- P9** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram)
Determination of $|V_{ub}/V_{cb}|$ with DELPHI at LEP
Accepté par Phys. Lett. **B**
- P10** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram)
Search for Heavy Stable and Long-Lived Particles in e^+e^- Collisions at $\sqrt{s} = 189$ GeV
Accepté par Phys. Lett. **B**
- P11** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram)
Inclusive Σ^- and $\Lambda(1520)$ production in hadronic Z decays
Phys. Lett. **B475** (2000) 429-447
- P12** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram)
Search for charginos in e^+e^- interactions at $\sqrt{s} = 189$ GeV
Accepté par Phys. Lett.
- P13** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram)
Identified Charged Particles and Resonances in Quark and Gluons Jets
Soumis à Eur. Phys. J. **C**
- P14** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram)
Measurement of the $\bar{B} \rightarrow D^{(*)} \pi l \bar{\nu}_l$ branching fraction
Accepté par Phys. Lett. **B**
- P15** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram)
Upper Limit for the Decay $B^- \rightarrow \tau^- \bar{\nu}_\tau$ and measurement of the $b \rightarrow \tau \bar{\nu}_\tau X$ Branching

Ratio

Soumis à Phys. Lett. **B**

- P16** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (*J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram*)
A precise measurement of the τ polarisation at LEP-1
Soumis à Eur. Phys. J. **C**
- P17** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (*J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram*)
Two-dimensional analysis of the Bose-Einstein correlations in e^+e^- annihilation at the Z^0 peak
Accepté par Phys. Lett. **B**.
- P18** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (*J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram*)
 Λ_b polarization in Z decays at LEP
Soumis à Phys. Lett. **B**
- P19** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (*J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram*)
Measurement of the gluon fragmentation function and a comparison of the scaling violation in gluon and quark jets
Accepté par E. Phys. J. **C**
- P20** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (*J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram*)
Measurement of the strange quark forward-backward asymmetry around the Z^0 peak
Accepté par E. Phys. J. **C**
- P21** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (*J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram*)
Consistent measurements of α_s from precise oriented event shape distributions
Accepté par E. Phys. J. **C**
- P22** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (*J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram*)
Measurements of the Z partial decay width into $c\bar{c}$ and multiplicity of charm quarks per b decay
E. Phys. J. **C** **12** (2000) 225-241
- P23** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (*J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram*)
Determination of $P(c \rightarrow D^{*+})$ and $BR(c \rightarrow l^+)$ at LEP 1
E. Phys. J. **C** **12** (2000) 209-224
- P25** *J.-N. Capdevielle et al., (C. Le Gall)*
Simulation of extensive air showers at ultra- high energy using the CORSIKA Monte Carlo code
Astroparticle Physics **13** (2000) 259-275
- P26** A. Benoit *et al.*, (*J. Delabrouille*)
Calibration and first light of the Diabolo photometer at the millimetre and infrared Testa Grigia Observatory
Astronomy & Astrophysics Supplement Series **141** (2000) 523-532
- P27** P. de Bernardis *et al.*, (*K. Ganga*)
A flat universe from high-resolution maps of the cosmic microwave background radiation
Nature Vol. **404**, 27 April 2000, 955-959
- P28** J.-B. Peterson *et al.*, (*K. Ganga*)
First results from VIPER : detection of small-scale anisotropy at 40 GHz.
Soumis à ApJ.

- P29** A. Melchiorri *et al.*, (*K. Ganga*)
A measurement of Ω from the north american test flight of BOOMERANG
Soumis à ApJ.
- P30** - P.-D. Mauskopf *et al.*, (*K. Ganga*)
Measurement of a peak in the cosmic microwave background power spectrum from the north american test flight of BOOMERANG
Soumis à ApJ.
- P31** M. Apollonio *et al.*, CHOOZ Coll. (*H. de Kerret, D. Kryn, B. Lefèvre, M. Obolensky, D. Véron, V. Vyrodiv*)
Determination of neutrino incoming direction in the CHOOZ experiment and Supernova explosion location by scintillator detectors
Phys. Rev. **D61** (2000) 012001
- P32** E. Kerins *et al.*, (*Y. Le Du*)
Theory of pixel lensing towards M31. I : the density contribution and mass of MACHOS
Soumis à Mon. Not. R. Astron. Soc.
- P33** B. Degrange and *M. Punch*
Gamma-ray astronomy at high and very high energies
C. R. Acad. Sci. Tome **1** Série IV No 1 (2000) 189-198
- P34** *B. Revenu et al.*, (*A. Kim, J. Delabrouille, J. Kaplan*)
Destriping of polarized data in a CMB mission with a circular scanning strategy
Astronomy & Astrophysics Supplement Series **142** (2000) 499R-509R

D.1.2 Année 1999

- P35** F. Derue *et al.*, EROS Coll. (*P. Barette, A. Bouquet, J.-C. Hamilton, A. Kim*)
Observation of microlensing towards the galactic spiral arms. EROS II year survey
Astronomy & Astrophysics **351** (1999) 87
- P36** B. Goldman *et al.*, EROS Coll. (*P. Barette, A. Bouquet, J.-C. Hamilton, A. Kim*)
EROS 2 proper motion survey : a field brown dwarf and an L dwarf companion to LHS 102
Astronomy & Astrophysics **351** (1999) L5-L9
- P39** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (*J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram*)
Search for the Higgs boson in events with isolated photons at LEP 2
Phys. Lett. **B458** (1999) 431-446
- P40** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (*J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram*)
Search for chargino pair production in scenarios with gravitino LSP and stau NLSP at $\sqrt{s} \sim 183$ GeV at LEP
Phys. Lett. **B466** (1999) 61-70
- P41** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (*J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram*)
Measurement of the rate of $b\bar{b}b\bar{b}$ events in hadronic Z decays and the extraction of the gluon splitting into $b\bar{b}$
Phys. Lett. **B462** (1999) 425-439
- P42** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (*J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram*)
Measurement of the mass of the W boson using direct reconstruction at $\sqrt{s} = 183$ GeV
Phys. Lett. **B462** (1999) 410-424

- P43** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (*J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram*)
Search for charged Higgs Bosons at LEP2
Phys. Lett. **B460** (1999) 484-497
- P44** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (*J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram*)
Measurements of the Trilinear Gauge Boson Couplings WWV ($V = \gamma, \dots, Z$) in e^+e^-
Collisions at 183 GeV
Phys. Lett. **B459** (1999) 382-396
- P45** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (*J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram*)
A search for invisible Higgs bosons produced in e^+e^- interactions at LEP 2 energies
Phys. Lett. **B459** (1999) 367-381
- P46** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (*J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram*)
Energy Dependence of Inclusive Spectra in e^+e^- Annihilation
Phys. Lett. **B459** (1999) 397-411
- P47** P. Abreu *et al.*, Delphi Coll. (*J.-M. Brunet, J. Dolbeau, G. Tristram*)
Multiplicity Fluctuations in One- and Two-Dimensional Angular Intervals Compared
With Analytic QCD Calculations
Phys. Lett. **B457** (1999) 368-382
- P68** *J.-N. Capdevielle et al.*
Inverse muon charge ratio induced by solar neutrons
Astroparticle Physics **11** (1999) 335-346
- P69** E. Pointecouteau *et al.* (*J. Delabrouille*)
A Sunyaev-Zel'dovich map of the massive core in the luminous X-ray cluster
RXJ1347 – 1145
The Astrophysical Journal, Vol. **519**, Issue 2 (1999) L115-L118
- P70** E. Andersen *et al.*, WA97 Coll. (*A. Diaczek, M. Sené, R. Sené, S. Szafran, A. Volte*)
Strangeness enhancement at mid-rapidity in Pb-Pb collisions at 158 A GeV/c
Phys. Lett. **B449** (1999) 401-406
- P71** *A. Djannati-Ataï et al.* (*M. Punch, P. Espigat, C. Ghesquière*)
Very high energy Gamma-ray spectral properties of Mrk 501 from CAT Cerenkov teles-
cope observations in 1997
Astronomy & Astrophysics **350** (1999) 17-24
- P73** M. Apollonio *et al.*, CHOOZ Coll. (*H. de Kerret, D. Kryn, B. Lefièvre, M. Obolensky,*
D. Véron, V. Vyrodov)
Limits on neutrinos oscillations from the CHOOZ experiment
Phys. Lett. **B466** (1999) 415-430
- P75** *T. Patzak, P. Gorodetzky, K. Medjoubi, J.-C. Vanel*
Generator of two single electrons separated in time adjustable between 300 ps and 100 ns
NIM **A434** (1999) 358-361
- P76** C. Hoffman *et al.* (*M. Punch*)
Gamma-ray astronomy at high energies
Review of Modern Physics **71** (1999) 897-936
- P77** F. Antinori *et al.*, WA85 Coll. (*M. Sené, R. Sené, A. Volte*)
Enhancement of strange and multi-strange baryons in S–W interactions at 200 GeV/c
Phys. Lett. **B447** (1999) 178-182

- P78** M. Spiro and D. Vignaud
Neutrino physics and astrophysics
C. R. Acad. Sci. Paris, Tome **327** Série II b, (1999) 1047-1070

D.2 Communications aux conférences

D.2.1 Année 2000

- C1** J.-C. Hamilton
Preliminary Results and Perspectives in the ARCHEOPS Experiment
Rencontres de physique de la vallée d'Aoste : Results and perspectives in particle physics
– La Thuile, Vallée d'Aoste, France, 27 février - 4 mars 2000
- C2** K. Ganga
CMB Foregrounds
XXXV^{èmes} Rencontres de Moriond – Les Arcs, France, 23-30 janvier 2000
- C3** H. de Kerret
Chooz final results
XXXV^{èmes} Rencontres de Moriond – Les Arcs, France, 11-18 mars 2000
- C4** Y. Le Du
AGAPE : résultats pour la recherche de MACHOS par effet de microlentilles gravitationnelles en direction de M31
XXXV^{èmes} Rencontres de Moriond – Les Arcs, France, mars 2000
- C5** B. Revenu *et al.*, (A. Kim, J. Delabrouille, J. Kaplan)
Destriping of polarized and unpolarized CMB data
XXXV^{èmes} Rencontres de Moriond – Les Arcs, France, 23-30 janvier 2000

D.2.2 Année 1999

- C6** J. Dolbeau *et al.*, HELLAZ Coll. (A. de Bellefon, A. Diaczek, P. Gorodetzky, P. Guilloët, J.-J. Jaeger, P. Salin, A. Sarrat, S. Selmane, J.-C. Vanel, J. Waisbard)
The solar neutrino project HELLAZ : status report on the hardware and the simulation
LP99 (Lepton-Photon 99) - XIX International Symposium on Lepton and Photon Interaction at High Energies – Stanford, California, USA 9-13 août 1999
- C7** J.-N. Capdevielle
Topological aspects of μ^+/μ^- abundances in cosmic ray events
First Arctic Workshop on ray muons – CosmoLep, Sodankylä, Finlande, avril 1999
- C8** J.-N. Capdevielle *et al.*
Investigation of EAS lateral characteristics at Agarads altitude (3200m a.s.l.)
Conférence sur les rayons cosmiques, Yerevan, Arménie, juin 1999
- C9** J.-N. Capdevielle
Coplanar events and multiproduction event generators in the knee region
Proc. 26th International Cosmic Ray Conference, 111-114
Salt Lake City, Utah, USA, August 17-25, 1999

- C10** *J.-N. Capdevielle et al.*
Significance of inverse μ^+/μ^- charge ratio correlated with neutrino-antineutrino abundance
Proc. 26th International Cosmic Ray Conference, 131-134
Salt Lake City, Utah, USA, August 17-25, 1999
- C11** *J.-N. Capdevielle, C. Le Gall et al.*
Energy determination in giant EAS
Proc. 26th International Cosmic Ray Conference, 437- 440
Salt Lake City, Utah, USA, August 17-25, 1999
- C12** *J.-N. Capdevielle, C. Le Gall*
Multiproduction at UHE and simulation of giant EAS
Proc. 26th International Cosmic Ray Conference, 482- 485
Salt Lake City, Utah, USA, August 17-25, 1999
- C13** *G. Mohanty et al., CAT Coll. (A. Djannati-Ataï, P. Espigat, M. Punch)*
Large zenith-angle observations with the CAT Cherenkov imaging telescope
Proc. 26th International Cosmic Ray Conference, Vol. 3 - 452
Salt Lake City, Utah, USA, August 17-25, 1999
- C14** *P. Goret et al., CAT Coll. (A. Djannati-Ataï, P. Espigat, M. Punch)*
Search for > 400 GeV gamma-rays from the SNR Cas A with the CAT telescope
Proc. 26th International Cosmic Ray Conference, Vol. 3 - 496
Salt Lake City, Utah, USA, August 17-25, 1999
- C15** *A. Musquère et al., CAT Coll. (A. Djannati-Ataï, P. Espigat, M. Punch)*
Search for VHE pulsed emission from the Crab with the CAT telescope
Proc. 26th International Cosmic Ray Conference, Vol. 3 - 460
Salt Lake City, Utah, USA, August 17-25, 1999
- C16** *F. Piron et al., CAT Coll. (A. Djannati-Ataï, P. Espigat, M. Punch)*
Observations of gamma-ray emission from the blazar Markarian 421 above 250 GeV with the CAT Cherenkov imaging telescope
Proc. 26th International Cosmic Ray Conference, Vol. 3 - 326
Salt Lake City, Utah, USA, August 17-25, 1999
- C17** *J.-P. Tavernet et al., CAT Coll. (A. Djannati-Ataï, P. Espigat, M. Punch)*
VHE spectral properties of Mrk 501 with the CAT telescope
Proc. 26th International Cosmic Ray Conference, Vol. 3 - 322
Salt Lake City, Utah, USA, August 17-25, 1999
- C18** *F. Piron et al., CAT Coll. (A. Djannati-Ataï, P. Espigat, M. Punch)*
Search for VHE gamma-ray emission of selected BL-Lac objects with the CAT telescope
Proc. 26th International Cosmic Ray Conference, Vol. 3 - 397
Salt Lake City, Utah, USA, August 17-25, 1999
- C19** *P. Goret et al., CAT Coll. (A. Djannati-Ataï, P. Espigat, M. Punch)*
Pseudo-stereo analysis as applied to CAT data
GeV/TeV Gamma-Ray Astrophysics toward a major Atmospheric Cherenkov Telescope VI – Snowbird, Utah, USA, August 13 - 16, 1999
- C20** *A. Kohne et al., HESS Coll. (P. Espigat, M. Punch)*
Astrophysics with HESS

Proc. 26th International Cosmic Ray Conference, Vol. 5 - 271
Salt Lake City, Utah, USA, August 17-25, 1999

- C21** A. Kohne *et al.*, HESS Coll. (*P. Espigat, M. Punch*)
HESS The high-energy spectroscopic system
Proc. 26th International Cosmic Ray Conference, Vol. 5 – 239
Salt Lake City, Utah, USA, August 17-25, 1999
- C22** M. de Naurois *et al.*, CELESTE Coll. (*P. Espigat, F. Münz, B. Giebels, A. Volte*)
First results & future prospects for 30 GeV gamma rays from CELESTE
Proc. 26th International Cosmic Ray Conference, Vol. 5 211
Salt Lake City, Utah, USA, August 17-25, 1999
- C23** *M. Punch et al.*, HESS Coll. (*P. Espigat*) Use of GHz analogue memories in ground-based gamma-ray astronomy
GeV/TeV Gamma-Ray Astrophysics toward a major Atmospheric Cherenkov Telescope VI – Snowbird, Utah, USA, August 13 - 16, 1999
- C24** C. Ghesquière *et al.*, CAT Coll. (*A. Djannati-Ataï, P. Espigat, M. Punch*)
VHE gamma ray observation of AGN by the CAT telescope
TAUP 99 – Paris, France, 6-10 septembre 1999
- C25** *J. Kaplan*
Pixel lensing : present and future
Workshop on Gravitational lensing – Capri, Italie, 28 septembre 20 octobre 1999
- C26** *A. Sarrat*
Efficacité de détection des électrons d'un nuage d'ionisation avec un détecteur Micromé-
gas à deux dimensions
5^{èmes} Rencontres avec les jeunes chercheurs – Aussois 6-10 décembre 1999
- C27** *J.-C. Vanel*
Signal processing techniques
Proc. Third Rencontres du Vietnam, 251-256
Hanoi, Vietnam – 4-10 janvier 1999

D.3 Orateurs aux conférences

D.3.1 Année 2000

- I1** *J.-C. Hamilton*
Preliminary Results and Perspectives in the ARCHEOPS Experiment
Rencontres de physique de la vallée d'Aoste : Results and perspectives in particle physics
– La Thuile, Vallée d'Aoste, France, 27 février - 4 mars
- I2** *K. Ganga*
CMB Foregrounds
XXXV^{èmes} Rencontres de Moriond – Les Arcs, France, 23-30 janvier 2000
- I3** *H. de Kerret*
Chooz final results
XXXV^{èmes} Rencontres de Moriond – Les Arcs, France, 11 - 18 mars 2000

I4 *Y. Le Du*

AGAPE : résultats pour la recherche de MACHOS par effet de microlentilles gravitationnelles en direction de M31

XXXV^{èmes} Rencontres de Moriond – Les Arcs, France, mars 2000

I5 *B. Revenu*

Destripping of polarized and unpolarized CMB data

XXXV^{èmes} Rencontres de Moriond – Les Arcs, France, 23-30 janvier 2000

D.3.2 Année 1999

I6 *A. de Bellefon*

Status report on TPC for solar neutrinos

The 17th International Workshop on Weak Interactions and Neutrinos (WIN 99) – Cape Town, South Africa, January 24-30, 1999

I7 *A. de Bellefon*

Forthcoming solar neutrino experiments

Abingdon, United Kingdom, May 8-9, 1999

I8 *J.-N. Capdevielle*

Topological aspects of μ^+/μ^- abundances in cosmic ray events

First Arctic Workshop on ray muons – CosmoLep, Sodankylä, Finlande, avril 1999

I9 *J.-N. Capdevielle*

Coplanar events and multiproduction event generators in the knee region

Proc. 26th International Cosmic Ray Conference, 111-114

Salt Lake City Utah, USA, August 17-25, 1999

I10 *J.-N. Capdevielle*

Energy determination in giant EAS

Proc. 26th International Cosmic Ray Conference, 437-440

Salt Lake City Utah, USA, August 17-25, 1999

I11 *J. Dolbeau*

The solar neutrino project HELLAZ : status report on the hardware and the simulation

LP99 (Lepton-Photon 99) - XIX International Symposium on Lepton and Photon Interaction at High Energies – Stanford, California, USA, August 9-13, 1999

I12 *C. Ghesquière*

VHE gamma ray observation of AGN by the CAT telescope

TAUP 99 – Paris, France, 6-10 septembre 1999

I13 *J. Kaplan*

Pixel lensing : present and future

Workshop on Gravitational lensing – Capri, Italie, 28 septembre 20 octobre 1999

I14 *M. Punch*

Use of GHz analogue memories in ground-based gamma-ray astronomy

GeV/TeV Gamma-Ray Astrophysics toward a major Atmospheric Cherenkov Telescope

VI – Snowbird, Utah, USA, August 13 - 16, 1999

I15 A. Sarrat

Efficacité de détection des électrons d'un nuage d'ionisation avec un détecteur Micromegas à deux dimensions
5^{èmes} Rencontres avec les jeunes chercheurs – Aussois, 6-10 décembre 1999

I16 J.-C. Vanel

Signal processing techniques
Proc. Third Rencontres du Vietnam, 251-256
Hanoi, Vietnam, January 4-10, 1999

E Collaborateurs du Laboratoire

La liste des personnes ayant contribué aux activités du Laboratoire pour tout – ou partie (notés*) – de l'année entre le 1/7/99 et le 30/6/00 est la suivante :

Personnel permanent

M. Mohamed Abbès	Electronique	M. Laurent Guglielmi	Informatique
M. Hadji Ahamada	Service intérieur	M. Patrick Guillouët	Mécanique
M. Pierre Bareyre	Cosmologie	M. Didier Imbault*	Mécanique
M. Alain Méric de Bellefon	CHOOZ, HELLAZ	M. Jean-Jacques Jaeger	Electronique
Ms Gisèle Bordes	Phénoménologie	M. Jean Kaplan	Cosmologie
Mme Janine Boucher	Informatique	M. Hervé de Kerret	CHOOZ
Mlle Karima Boulhouchat*	Administration	M. Didier Kryn	CHOOZ
M. Alain Bouquet	Cosmologie	Mme Claude Lamy	Informatique
M. Claude Boutonnet	Electronique	Mme Simone Lantz	Biblionomie
Mme Chantal Bréon-Hussenot	Administration	Mme Hélène Le Bihan	Administration
M. Dominique Broszkiewicz	Electronique	M. Jean Le Fur	Service intérieur
M. Jean-Michel Brunet	AUGER, DELPHI	M. Bernard Lefèvre	CHOOZ
M. Jean-Noël Capdevielle	CAT, AUGER	M. François Lelong	Mécanique
Mme Françoise Cardoso*	Administration	M. Daniel Marchand	Mécanique
Mme Danielle Cerverra*	Administration	Mme Claudine Masson	Administration
Mme Josette Come-Garry	Biblionomie	M. Daniel Monnot	Electronique
M. Jean-Claude Couillard	Biblionomie	M. Serge Néchal	Service intérieur
M. Bernard Courty	Electronique	M. Michel Obolensky	CHOOZ
M. Michel Crézé	Cosmologie	M. Michel Pairat	Mécanique
M. Jacques Delabrouille	Cosmologie	Mme Martine Piochaud	Administration
M. Eric Demange	Service intérieur	Mme Sylviane Poulain*	Administration
M. Gilles Desplancques	Electronique	Mme Claude Poutot	Informatique
M. Albert Diaczek*	Mécanique	M. Daniel Poutot	Informatique
M. Arache Djannati-Atai	CAT	M. Michael Punch	CAT
M. Jean Dolbeau	HELLAZ	M. Jean-Paul Rény	Mécanique
M. Cyril Dufour	Informatique	M. Pierre Salin	Mécanique
Mme Marie-Geneviève Espigat	Informatique	M. Jacques Séguinot	HELLAZ
M. Pierre Espigat	CAT	M. Sahbi Selmane	Electronique
M. Alain Faye	Informatique	M. Oleg Sokolsky	Sécurité
M. Pierre Frenkiel	AUGER	M. Philippe Tardy	Electronique
M. Marcel Froissart	Cosmologie	M. Gérard Tristram	AUGER, DELPHI
M. Claude Ghesquière	Cosmologie, CAT	Mme Dominique Vallée	Informatique
M. Yannick Giraud-Héraud	Cosmologie	M. Jean-Charles Vanel	HELLAZ, Cosmologie
M. Michel Gladioux	Mécanique	M. Jean Vergne	Electronique
M. Philippe Gorodetzky	HELLAZ	M. Daniel Vignaud	Directeur

M. Jean-Pierre Villain	Informatique	Mlle Béatrice Yoffo	Mécanique
M. Albin Volte	CAT	M. Thomas Ypsilantis	HELLAZ
M. Jack Waisbard	Electronique		

Visiteurs et post-doctorants

M. Alexandre Chekhtman *	Astronomie gamma	M. Corentin Le Gall *	AUGER
M. James W. Cronin	AUGER	M. Conor Masterson *	Astronomie gamma
M. Alexandre Etenko *	CHOOZ	M. Alessandro Raseto *	Neutrinos solaires
M. Kenneth Ganga	Cosmologie	M. Andrei Sabelnikov *	CHOOZ
M. Jean-Christophe Hamilton	Cosmologie	M. Serguei Sukhotine *	CHOOZ
M. Alex Kim *	Cosmologie	M. Jacek Szabelski *	Cosmologie
M. Yuri Kozlov *	CHOOZ	M. Alejandro Veiga *	AUGER
Mme Isabella Kurp *	AUGER	M. Tadasz Wibig *	AUGER

Thésards

M. Alexandre Amblard	Cosmologie	M. Filip Münz *	Astronomie gamma
M. Tristan Beau	Neutrinos solaires	M. Stéphane Paulin-Henriksson	Cosmologie
M. Sebastiano Calchi Novati	Cosmologie	M. Benoît Revenu	Cosmologie
M. Bruno Khelifi	Astronomie gamma	M. Antony Sarrat	Neutrinos solaires
M. Yann Le Du	Cosmologie	M. Régis Terrier	Astronomie gamma

Stagiaires

M. Fabien Baron *	Cosmologie	M. David Louapre *	Cosmologie
M. Fabrice Cohen *	AUGER	M. Nicolas Miletic *	Neutrinos solaires
M. Olivier Danard *	Informatique	M. Guillaume Patanchon *	Cosmologie
M. Guillaume Dournes *	HELLAZ	Mlle Isabelle Pensec *	Informatique
M. Stéphane Farges *	Neutrinos solaires	M. Bastien Pigeyre *	Neutrinos solaires
M. Bertrand Goldman	Cosmologie	M. Nicolas Pochat-Pochatoux *	CHOOZ
M. Mourad Hamidouche *	HELLAZ	Mlle Andry Rakotozafindrabe *	Cosmologie
M. Nicolas Iro *	Cosmologie	Mme Cristina Régoa Matos Afonso	Cosmologie
Mlle Angélique Joinet *	HELLAZ	M. Romaric Thevenet *	Neutrinos solaires
M. Lucas Levrel *	Cosmologie	M. Moudheur Zarroug *	Cosmologie
M. Marceau Limousin *	AUGER		

Table des matières

1	Introduction	1
2	Observatoire Pierre Auger	3
2.1	Description du dispositif	3
2.2	Construction de l'Observatoire	4
2.3	Réalisations du Laboratoire	4
3	Etude des gammas cosmiques	8
3.1	CAT	8
3.2	CELESTE	9
3.3	HESS	10
3.4	GLAST	12

4	Neutrinos solaires	12
4.1	Expérience de CHOOZ	13
4.2	BOREXINO – LENS	15
4.3	Projet HELLAZ	16
5	Cosmologie	18
5.1	Naines brunes	19
5.2	ARCHEOPS – PLANCK	20
5.3	Automatisation d’un télescope de 55 cm au Pic du Midi	26
6	Expérience DELPHI au LEP	27
7	Activités en mécanique	27
8	Electronique	29
8.1	Réalisations	30
8.2	Activités générales	31
9	Informatique	31
9.1	Infrastructures	31
9.2	Assistance	33
10	Services généraux	33
A	Formation	34
B	Ouverture du Laboratoire	35
B.1	Conférences internationales	35
B.2	Intérêt général	35
B.3	Collaborations	35
B.4	Enseignements	36
B.5	Visiteurs	37
C	Séminaires du Laboratoire	38
D	Publications	39
D.1	Articles	39
D.2	Communications aux conférences	44
D.3	Orateurs aux conférences	46
E	Collaborateurs du Laboratoire	48