

Physique corpusculaire

M. Marcel FROISSART, professeur

Les grandes gerbes cosmiques

L'existence de rayons cosmiques de très haute énergie (plus de 10^{20} eV, soit une dizaine de joules) pose tout un ensemble de problèmes sur leur origine, leur survie jusqu'à l'arrivée à la Galaxie, et leur impact dans l'atmosphère.

Les problèmes de survie

Le problème fondamental est le phénomène découvert par Greisen, Zatsepin et Kuzmin (GZK) : interaction sur les photons d'un fond uniforme, notamment ceux du rayonnement à 3 K. Dès l'énergie pour avoir des collisions inélastiques, l'énergie diminue rapidement. Pour les électrons et photons, ce seuil se situe vers 10^{14} eV, pour les nucléons vers 10^{20} eV. Cette perte d'énergie pose des contraintes sur la création de rayons cosmiques au-dessus du seuil : ils ne peuvent pas venir de très grandes distances, et leur distribution en énergies à la source doit être ajustée.

Les mécanismes primaires d'accélération

Mécanismes bottom up

On imagine mal comment communiquer une énergie macroscopique à une particule : l'action accélératrice doit accompagner la particule sur une longue distance dans un milieu raréfié. Une onde de choc magnétohydrodynamique relativiste pourrait accompagner et accélérer quelques rares particules, spiralant à travers l'onde de choc, et gagnant ainsi de l'énergie. Les rayons cosmiques d'énergies moyennes ($E < 10^{15}$ eV) peuvent venir ainsi de l'onde de choc accompagnant l'explosion de supernovae. Au-delà, il faut mettre en jeu des énergies correspondant plutôt à des masses de galaxies qu'à des masses stellaires : noyaux actifs de galaxies (AGN) ou blazars à protons. Cependant, de tels systèmes sont

rares, et peu nombreux dans le rayon de quelque 100 Mpc autorisé par la barrière de GZK. A ces énergies, les champs magnétiques perdent leur effet désorientant, et la direction apparente resterait corrélée à la source.

Mécanismes top down

Inversement, on peut supposer que les particules cosmiques observées proviennent de la fragmentation d'éléments très massifs. Des « défauts topologiques » dans la structure de l'Univers pourraient jouer là un rôle important, défauts fossiles remontant au Big Bang et liés à la brisure de la symétrie GUT par exemple. On aurait ainsi des cordes, ou des points, s'annihilant après s'être rassemblés dans des puits gravitationnels. Il est néanmoins difficile d'obtenir ainsi les intensités et spectres observés.

Raisonnements par l'absurde

Les caractéristiques des sursauts gamma semblent aussi difficiles à expliquer que celles des rayons cosmiques d'ultra-haute énergie. Serait-ce lié à une cause commune ? Observationnellement, on ne peut sérieusement songer à poursuivre dans cette voie, vu les différences de distribution angulaire, et le manque de corrélations temporelles dû aux itinéraires différents.

L'observation des cosmiques

Au-dessus de 10^{15} eV, les seules primaires possibles sont les nucléons et les neutrinos : l'effet GZK rend l'accès impossible aux particules électromagnétiques, et dissocie les noyaux.

Les neutrinos cosmiques

A très haute énergie, les neutrinos ont une section efficace d'interaction non-négligeable, qui leur permet une observation comme gerbes dans l'atmosphère, à l'horizontale ou au-dessous.

Exempts de l'effet GZK, ils donneraient, s'ils existent en assez grand nombre, une vue tout à fait nouvelle de l'univers, des informations sur les moteurs des cosmiques, sur les neutrons créés par effet GZK, sur les sursauts gamma peut-être — sans problèmes de synchronisation cette fois — voire donner une radiographie de la Terre.

L'étude des gerbes de neutrinos pourrait avoir des retombées sur les oscillations de neutrinos, ou la recherche des WIMPs.

Le détecteur de neutrinos susceptible de remplir toutes ces fonctions devrait échantillonner un km^3 .

Un milieu idéal est la glace polaire, qui a d'excellentes propriétés optiques en profondeur. Certaines zones marines ou lacustres pourraient rivaliser, en commodité d'accès notamment.

Les cosmiques nucléoniques

La pente du spectre des cosmiques, voisine de E^{-3} , paraît diminuer aux énergies extrêmes observées (« cheville » du spectre). Le flux étant extrêmement faible dans l'absolu, il est nécessaire d'envisager un détecteur de plusieurs milliers de km^2 , ou préférablement deux détecteurs à des latitudes moyennes nord et sud. Le projet Pierre Auger se donne ce but. Les deux sites sont choisis à des longitudes voisines, Argentine et Utah, de façon à pouvoir couvrir simultanément une partie du ciel.

Deux techniques indépendantes seront utilisées pour permettre une calibration croisée : un maillage Čerenkov à eau en surface pour détecter les particules de la gerbe, et des « yeux » détecteurs de la fluorescence de l'atmosphère. Chaque site couvrira $3\,000\text{ km}^2$, avec $3\,000$ stations. Les yeux sont d'une technologie éprouvée. La difficulté du projet est sa taille, et la fiabilité unitaire de ses éléments, qui nécessite une approche voisine de la technologie spatiale.

1. Introduction

L'année précédente était marquée par l'optimisme lié au démarrage des nouvelles options du Laboratoire dans les directions approuvées par le Comité Scientifique et le Comité National de la Recherche Scientifique.

La réalité des faits n'a pas suivi la ligne pourtant ainsi clairement tracée, un certain nombre de retards s'accumulant dans la procédure de création d'une UMR entre le Collège de France et l'IN2P3. Le Laboratoire a vécu pratiquement le premier semestre 1997 dans une structure partagée, faute de convention entre les partenaires : théoriquement, le Laboratoire se composait d'une unité en réaffectation du CNRS/IN2P3, hébergée par la chaire de Physique Corpusculaire du Collège de France. Heureusement la signature d'une convention d'unité mixte de recherche est venue combler ce vide juridique fin juin 97.

Les directeurs de ces deux formations se félicitent néanmoins de ce que cette division théorique n'ait pas encore eu de conséquence trop néfaste sur le fonctionnement du Laboratoire : les recherches selon les axes retenus ont pu être menées à bien, et de nombreux chercheurs se sont efforcés de resserrer leurs activités vers les objectifs définis :

- Étude des rayons cosmiques, sur le site de Thémis au sein des 3 expériences conjointes Themistocle, Cat et Celeste, à des énergies allant de la dizaine de GeV à la dizaine de TeV.

Préparation du projet Auger, qui se propose l'étude des cosmiques au-dessus du million de TeV.

- Étude des neutrinos, avec l'expérience de Chooz qui commence à fournir des résultats.

Préparation intensive du projet HELLAZ, destiné à déterminer le spectre en énergie et la nature des neutrinos solaires, pour fournir des réponses définitives au problème du déficit en neutrinos observés.

- Études de cosmologie observationnelle, mettant largement à profit nos savoir-faire en acquisition, réduction et gestion de grandes masses de données. Ceci permet de surveiller le ciel avec une vigilance tout à fait nouvelle, afin de détecter des événements fugitifs et imprévisibles, tels que les effets de microlentilles gravitationnelles ou les supernovae. Ces données sont indispensables à la résolution de problèmes sur la structure globale de notre univers.

En outre nous devons finir de nous acquitter de nos engagements vis-à-vis des activités dont nous nous retirons, et il est tout à fait clair que ceci se fait avec le plus grand scrupule.

Les problèmes de renouvellement et de jouvence des effectifs sont cruciaux, et le Laboratoire, déjà soutenu par l'IN2P3 par l'apport récent d'un poste de chercheur et de 2 postes pour de jeunes ingénieurs, doit pouvoir compter sur une poursuite de cet appui : nos équipes de recherche ont besoin d'un sang nouveau, et d'un soutien technique solide et rajeuni, qu'il s'agisse d'informatique, d'électronique ou de mécanique.

Le présent rapport est condensé par rapport au rapport d'activité in extenso, disponible au Laboratoire, ou sur [www:http://cdfinfo.in2p3.fr](http://cdfinfo.in2p3.fr)

2. *Physique des cosmiques*

2.1. *Gammas cosmiques : expériences en cours*

La physique des particules cosmiques est implantée dans le Laboratoire depuis de nombreuses années. En 1987 a débuté l'expérience THEMISTOCLE, visant la détection des rayons gamma de haute énergie (> 1 TeV) sur le site de l'ancienne centrale solaire EdF : THEMIS, à Targassonne (PO).

Par son altitude (1 650 m), et les conditions de transparence de son atmosphère, souvent favorables, ce site s'avère particulièrement approprié à la détection des gerbes par leur rayonnement Čerenkov dans l'atmosphère. De plus une partie du matériel et des infrastructures laissées à disposition par l'EdF ont été réutilisées par les expériences, en développements successifs, tous orientés vers la détection Čerenkov. L'activité en 1996-97 s'est portée sur trois ensembles expérimentaux intimement liés :

THEMISTOCLE : Cette expérience comprenant 18 petits télescopes répartis sur une surface de 4 ha est en fonctionnement depuis 1989. Au cours de l'année 1996 a été effectuée une remise en état de l'appareillage ; un changement de photomultiplicateurs permet d'abaisser le seuil vers 1 TeV.

Depuis l'automne 1996, le détecteur observe simultanément les mêmes sources que CAT et au cours de cette année des « sursauts » de 2 AGN (Noyaux Actifs de Galaxie) Mkr421 et Mkr501 ont été observés jusqu'à des énergies d'une dizaine de TeV.

Cette observation simultanée par THEMISTOCLE et CAT devrait permettre une calibration croisée en énergie de ces deux détecteurs en profitant de l'effort fourni précédemment par THEMISTOCLE pour le calibrage des énergies (difficile dans ce genre d'expérience où n'existe aucun faisceau de référence).

CAT : Cette expérience adjoint sur le site un miroir parabolique de 15 m² de surface à une caméra de 525 pixels, sensible au photo-électron. Elle permet d'observer des sources beaucoup moins intenses que celles accessibles par THEMISTOCLE. Les premières observations ont débuté à l'automne 1996 sur la nébuleuse du Crabe ; elles ont montré que les performances attendues étaient atteintes, en particulier en ce qui concerne le seuil en énergie. L'observation de « sursauts » des 2 AGN Mkr421 et Mkr501 montre la richesse de ce nouveau champ de recherche.

La contribution du Laboratoire y a été de fournir deux compteurs Čerenkov additionnels isolant les muons cosmiques avec une grande précision angulaire, qui permettront le calibrage de la réponse du détecteur aux photons Čerenkov et donc son étalonnage en énergie.

Le Laboratoire a également aménagé les réseaux de communications, en particulier par fibres optiques, entre les différentes expériences réparties sur le site.

CELESTE : Ce projet ambitieux est en période prototype. Il vise à gagner en luminosité, en réutilisant dans une phase ultime l'ensemble des héliostats de THEMIS en concentrateur sur la tour de support de chaudière. A la place de l'ancienne chaudière sera installée une optique secondaire formant sur des photomultiplicateurs une image des gerbes Čerenkov tombant dans le champ d'héliostats.

Fin 1997 un premier test aura lieu avec 20 héliostats, auxquels seront adjoints 20 héliostats supplémentaires fin 1998. Avec l'ensemble des 160 héliostats disponibles, on devrait atteindre un seuil de détection de 20 GeV — qui correspond à la coupure haute de la détection des rayons gamma par les satellites actuels — permettant l'observation de sources beaucoup plus lointaines.

La connaissance de la transparence de l'atmosphère est importante pour estimer correctement l'énergie des particules primaires. Pour mesurer cette transparence, un LIDAR (Light Detection And Ranging) va être installé sur le site. Dans cet appareil, un laser multifréquences émet vers le ciel, et un photomultiplicateur reçoit via un miroir la lumière rétrodiffusée, dont l'analyse donne des informations sur les propriétés optiques de l'atmosphère et des nuages de haute altitude.

Le Laboratoire a en charge le montage mécanique de l'appareil.

L'ensemble de ces expériences, que le Laboratoire soutient activement, constituera une entité unique couvrant des gammes d'énergie complémentaires et apportera une contribution de poids dans l'étude des sources gamma et des processus d'accélération et de production des rayons cosmiques.

2.2. *Observatoire Auger*

Durant les trois dernières décennies, plusieurs rayons cosmiques 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.

Le flux de ces particules est extrêmement faible, et estimé à $0,02/\text{km}^2/\text{an}$. L'obtention d'une centaine d'événements par an exige donc un détecteur couvrant une surface au sol de $5\,000\text{ km}^2$ au moins, et composé, si l'on tient compte de la taille des gerbes engendrées par ces rayons cosmiques, de stations de 10 m^2 espacées d'environ $1,5\text{ km}$.

Une équipe internationale s'est mise en place depuis moins de 3 ans, à l'initiative de James W. Cronin, pour étudier la faisabilité d'un tel réseau et sa capacité à répondre aux questions soulevées ci-dessus. Cette étude a abouti à un rapport technique auquel notre laboratoire a contribué, décrivant en détail ce réseau baptisé « Observatoire Pierre Auger ».

Dès novembre 1995, nous participions à l'organisation de la réunion de collaboration à Paris, où 60 physiciens de 15 nationalités ont présenté et discuté les principales options techniques. Il y a été décidé d'utiliser 2 sites, un dans chaque hémisphère. L'Argentine a été choisie pour abriter le site austral. Le site boréal, retenu en septembre 1996, a été le comté de Millard, dans l'Utah.

Chaque site sera équipé d'un appareillage hybride : 3 000 détecteurs de particules et 3 détecteurs de fluorescence, donnant ainsi des mesures croisées des paramètres de la gerbe.

La priorité est donnée aux recherches et développements, au renforcement de la collaboration et au financement de ce projet. Notre Laboratoire prend une part importante, surtout dans l'acquisition et le transfert des données.

Ont participé cette année à l'activité sur les cosmiques au Laboratoire : *J.-M. Brunet, J.-N. Capdevielle, J. Cronin, P. Espigat, P. Frenkiel, C. Ghesquière, Huynh Dong Phong, L. Guglielmi, S. Le Bohec, C. Le Gall, M. Punch, G. Tristram, J. Vrana † et J. Waisbard.*

3. *Cosmologie Observationnelle*

Le groupe de Cosmologie Observationnelle étudie la description macroscopique de l'Univers et la matière qui le constitue.

Événements marquants :

- fin des observations d'AGAPE sur le Télescope Bernard Lyot (TBL) du Pic du Midi et début d'analyse sur les données 1994-1996 ;
- renforcement des recherches de supernovae de type Ia, mise en place d'un télescope de 55 cm au Pic du Midi et participation à EROS II ;
- décision de participer au projet Planck-Surveyor (mesure des anisotropies du rayonnement à 3K).

3.1. Recherche de matière noire baryonique

L'identification de la matière noire des halos de galaxies est un problème majeur : sa quantité est assez bien déterminée, mais sa nature est incertaine.

Effet de microlentille. Une hypothèse possible est que la matière noire soit formée de « naines brunes », étoiles trop petites pour que les réactions nucléaires s'allument.

Ces objets sont détectables par l'effet de lentille gravitationnelle qu'ils produisent lorsqu'ils passent devant des étoiles d'arrière plan : on n'en voit pas la déformation, mais on peut détecter l'amplification du flux lumineux. Ces effets sont très rares et il faut surveiller des millions d'étoiles pour les observer. Quelques-uns ont été trouvés en direction du Grand Nuage de Magellan.

La méthode des pixels. Nous voulons observer en direction de la galaxie d'Andromède (M31), qui contient un très grand nombre d'étoiles. Celles-ci ne sont pas résolues, mais notre groupe a imaginé, et mis en œuvre au sein de la collaboration AGAPE, une méthode appropriée, qui permet d'explorer le halo de notre Galaxie et celui de M31.

Cette collaboration réunit des physiciens et astrophysiciens de 3 secteurs au CNRS, du CEA et du CERN.

En trois années (1994-1996), au Télescope Bernard Lyot (TBL) de 2 m, nous avons obtenu environ 80 images de 6 champs de 4' x 4' sur les régions centrales de M31. Les premiers résultats obtenus montrent que la méthode fonctionne, et que nous pouvons atteindre notre objectif.

Cette année a vu un important travail de mise au point des corrections, qui sera exposé dans la thèse de Y. Le Du.

Nous allons maintenant étudier une sélection des 30 meilleurs candidats.

La collaboration recherche un télescope suffisamment disponible et disposant d'une caméra à grand champ, afin d'accumuler de la statistique.

3.2 Recherche de supernovae de type Ia

Structure de l'Univers. Les paramètres H_0 , Ω_0 et q_0 caractérisent respectivement la vitesse d'expansion de l'Univers, sa densité et le ralentissement de son

expansion. Leur valeur se déduit de la comparaison entre distance absolue d'objets lointains et décalage vers le rouge z . Pour petit z , $z c$ est égal à la distance multipliée par la constante de Hubble H_0 . Pour z plus grand, l'écart dépend de q_0 , lié à Ω_0 par le modèle d'univers.

Supernovae de type Ia. La mesure absolue des distances est un problème majeur. Les supernovae de type Ia (SN Ia) sont de bonnes « chandelles standard », de luminosité intrinsèque constante et grande. On les voit de loin, et leur luminosité apparente permet d'évaluer leur distance.

Objectif. Nous voulons étudier statistiquement les SN Ia. La dispersion de leurs luminosités intrinsèques semble être de 20 %, ce qui empêche de déterminer q_0 . La situation pourrait être améliorée par des corrections utilisant la courbe de luminosité ou le spectre. La calibration de ces corrections requiert une importante étude statistique.

Rénovation du T55. Nous avons donc équipé un télescope de 55 cm au Pic du Midi d'une caméra couvrant 1/8 de degré carré, au foyer primaire, ce qui assure une grande luminosité. Une partie de la mécanique d'entraînement du télescope est refaite au Laboratoire, de même que le dispositif de positionnement des filtres. Nous comptons avoir l'ensemble opérationnel, et ainsi découvrir 3 à 10 supernovae par mois.

EROS. Nous participons également au programme EROS II qui recherche des supernovae à distance intermédiaire ($z \approx 0,1$).

La campagne du printemps 1997 (en grande partie consacrée à la mise au point) a permis de découvrir 3 supernovae, et on attend 3 à 5 supernovae par mois en fonctionnement normal.

Parmi les retombées d'un tel programme figure l'étude du taux d'explosion des supernovae, qui est encore très mal connu et fait l'objet de la thèse de *J.-C. Hamilton*.

L'ensemble de nos travaux se poursuit en collaboration avec des physiciens du Bureau des Longitudes, du CERN, du CEA (DAPNIA), du DESPA (Observatoire Paris-Meudon), du LAL (Orsay), et de l'Observatoire Midi-Pyrénées.

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

4. *Expériences sur les neutrinos*

4.1. *Recherche d'oscillations sur 1 km (centrale de Chooz)*

Après plusieurs expériences allant de 15 à 100 m du réacteur nucléaire du Bugey, le Laboratoire s'est associé à une collaboration recherchant les oscillations

de neutrinos sur une plus grande distance, malgré l'affaiblissement corrélatif de leur flux.

Sur une plus grande distance, les neutrinos ont plus de chances d'osciller, de passer d'une saveur à l'autre. Ceci permettrait d'atteindre la masse des neutrinos. La zone couverte par l'expérience recouperait des indications positives d'expériences souterraines étudiant les neutrinos créés dans l'atmosphère.

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

Des données ont été prises à l'automne 1996, avant le démarrage des réacteurs nucléaires ($2 \times 4\,200\text{ MW}_{\text{th}}$), ce qui a permis de mesurer le bruit de fond, qui s'est montré conforme aux prévisions, et plutôt inférieur à celles-ci.

Le premier réacteur est à 80 % de sa puissance nominale depuis mars 97, et le deuxième atteindra ce plateau au début de l'été.

Un premier résultat devrait être publié à la fin de l'année.

L'expérience. Le détecteur comporte une zone cible de 6 t de scintillateur liquide dopé au Gd, plongée dans du scintillateur non dopé, dont elle est séparée par une mince paroi transparente. La cible est regardée à distance par 192 photomultiplicateurs.

Les liquides scintillants, de grande transparence et délicats, sont acheminés jusqu'au détecteur depuis des réservoirs situés à l'extérieur, par une galerie de 200 m de long, avec une différence de niveau de 15 m. La fragilité du détecteur impose un remplissage simultané des différents éléments au centimètre près. Un changement de liquide scintillant a eu lieu avec succès en mars 97.

La contribution du Laboratoire. EdF a construit le laboratoire souterrain. Le Laboratoire a assuré la liaison avec les bureaux d'études, et le suivi du chantier (*D. Marchand*). Cette construction s'est avérée plus longue, difficile et coûteuse que prévu, notamment pour des problèmes de dureté de la roche.

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

Les systèmes de remplissage et de vidange du détecteur et leur maniement sont également sous la responsabilité d'une équipe du Laboratoire (*P. Salin, M. Obolensky, V. Vyrodiv, P. Guillouet*).

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

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

Elle a été fabriquée en collaboration avec la société CAEN à Pise. Une version destinée à être commercialisée est à l'étude (*F. Roger*).

La base de données (*J. Boucher*), l'acquisition (*D. Kryn*), la simulation (*H. de Kerret*, *B. Lefèvre*), et l'analyse des données (*M. Obolensky*) constituent un des axes importants de l'activité du groupe. Une thèse a été soutenue par *D. Véron* en mars 1997 sur la reconstruction et la mesure du bruit de fond de l'expérience à l'aide des échantillonneurs à 200 MHz.

Vers des masses encore plus petites. Cette expérience pourra servir de prototype pour une expérience plus lourde envisagée aux USA, à 13 km du réacteur de Perry, à 500 m sous terre. Le Japon s'engage dans un projet plus ambitieux encore à Kamioka, à 160 km d'un réacteur.

La collaboration de Chooz est la réunion de collaborations actuellement existantes : Savannah River aux États-Unis, Rovno et Krasnoïarsk en Russie, Bugey en France. La poursuite de ce programme avec l'expérience de Perry mènerait à l'exploration de masses du neutrino jusqu'à 0,01 eV. En-dessous, seuls les neutrinos issus du Soleil seraient peut-être susceptibles de fournir des indications, d'où l'intérêt témoigné par le groupe au projet HELLAZ pour l'avenir.

Le groupe de physiciens menant cette expérience au Laboratoire est constitué de : *H. de Kerret*, *D. Kryn*, *B. Lefèvre*, *M. Obolensky*, *D. Véron* et *V. Vyrodov*, ainsi que de nombreux visiteurs russes pour de courtes durées, en partie rémunérés sur le PICS 209 du CNRS, et dont l'activité présente un intérêt vital pour l'expérience.

4.2. *Le projet HELLAZ sur les neutrinos solaires*

Il y a bientôt 30 ans la première expérience qui a détecté des neutrinos solaires mettait en évidence un déficit des neutrinos observés par rapport au flux calculé.

Depuis, trois autres expériences ont constaté et confirmé ce déficit, sans pour autant en permettre l'explication. Aujourd'hui avec le lancement du projet « HELLAZ » et son ambition, une réponse est possible pour le début du prochain millénaire.

Ce projet de très grande TPC remplie d'hélium et d'hydrogène refroidis et sous pression, pour détecter les neutrinos solaires et mesurer leur énergie et leur saveur avec un très bas seuil ($E > 100$ keV) a été présenté dans un rapport d'activité précédent.

Le projet a été présenté, et favorablement accueilli, en 1995, au comité scientifique du Gran Sasso sur les Expériences Futures et au Comité Scientifique du LSM à Paris.

Le programme de travail a été présenté au Conseil Scientifique de l'IN2P3 en février 1997.

L'ensemble du projet HELLAZ pour détecter les neutrinos solaires y a été jugé important par la communauté scientifique.

- Les résultats obtenus au CERN avec une TPC (« Hellaz-0 ») comportant une chambre à fils pour la lecture ont donné lieu à publication dans les comptes-rendus du 7^e atelier sur les Télescopes à neutrinos (Venise-2/96).

L'essentiel de ces résultats porte sur les caractéristiques des mélanges de gaz à base d'hélium et l'utilisation d'une chambre à fils pour détecter l'électron unique.

- Depuis, une phase importante a débuté au laboratoire en 96 : démontrer la capacité d'un prototype (« Hellaz-1 ») à mesurer l'énergie d'un électron de 200 keV, avec l'incertitude la plus faible possible.

Ces électrons seront engendrés par effet Compton dans le gaz de la chambre, avec une cinématique parfaitement déterminée par ailleurs : autour d'une TPC d'environ 5 l seront disposés en couronne des compteurs à scintillation (CsI) destinés à détecter et mesurer l'énergie des gammas diffusés.

Le détecteur situé à une des extrémités de la chambre assurera la mesure et la reconstruction de l'électron ainsi engendré.

(T. Patzak, P. Gorodeztsky)

- La conception d'un nouveau prototype, « Hellaz-2 », a débuté. Ce sera une TPC d'environ 2 m de longueur de dérive, et de surface de détection $1 \times 1 \text{ m}^2$, donc d'un volume de 2 m^3 . Ce devrait être un test pour tous les composants qui seront autant que possible grandeur nature avant la conception et la construction de Hellaz-Prototype, une TPC de 40 m^3 qui devrait être installée au Gran Sasso avec blindage.

- L'expérience à échelle 1 nécessite d'examiner avec le plus grand soin la radioactivité des éléments constitutifs de l'appareillage final.

Nous avons donc entrepris d'installer au LSM un banc à germanium ultra-pur pour mesurer la radioactivité de composants, et d'étudier au Laboratoire la possibilité de mettre en œuvre un banc de concentration, extraction et mesure du taux de radon dans une enceinte. Cette mesure permettra de calibrer la radio-pureté des matériaux.

(C. Tao)

- En ce qui concerne les logiciels de simulation, nous avons cette année élaboré une chaîne de programmes destinés à générer des traces d'électrons de faible énergie (100 keV) puis à simuler l'ionisation le long de la trace, et enfin à estimer l'efficacité du détecteur en faisant dériver les électrons d'ionisation le long du volume de dérive envisagé.

(S. Ferron, N. Gagliardi)

D'autre part nous avons aussi réexaminé les avantages importants d'une reconstruction détaillée des événements du bruit de fond, dont l'orientation n'est a

priori pas corrélée à la position apparente du soleil, à l'inverse de celle des événements intéressants, ce qui fournit un élément important d'estimation des taux relatifs.

Ce programme au Laboratoire fait aussi l'objet de discussions avec des théoriciens. En particulier nous avons invité *G. Fiorentini* (INFN) et *S. Petcov* (SISSA) pour examiner les potentialités de HELLAZ.

Ce projet implique comme physiciens au Laboratoire : *A. de Bellefon*, *J. Dolbeau*, *S. Ferron*, *N. Gagliardi*, *P. Gorodetzky*, *T. Patzak*, *J. Schneps*, *J. Séguinot*, *R. Sené*, *C. Tao*, *G. Tristram* et *T. Ypsilantis*

5. Expérience DELPHI au LEP

Le Laboratoire participe sur le collisionneur LEP au CERN à la collaboration DELPHI constituée de 550 physiciens provenant de 56 laboratoires européens, russes et américains. La mise en place de nouvelles cavités accélératrices a permis une montée progressive en énergie depuis 1995, dépassant le seuil de production de paires de W .

Notre activité s'est portée plus particulièrement sur les points suivants :

5.1. Physique des particules de beauté

Les performances du détecteur de vertex au silicium et du compteur Čerenkov RICH ont permis, grâce à une signature efficace de la réaction $Z^0 \rightarrow b\bar{b}$, une étude approfondie des propriétés des mésons B : mesure des temps de vie des 3 types, détermination précise des éléments de la matrice de Cabibbo-Kobayashi-Maskawa faisant intervenir la beauté, observation et mesure des oscillations du B_d en vol. Tous les efforts se portent maintenant sur l'étude du B_s , compliquée par une fréquence d'oscillation plus grande.

(*P. Beillière*, *J.-M. Brunet*, *Ch. Defoix*, *J. Dolbeau*, *G. Tristram*)

5.2. Recherche de nouvelles particules

Avec la montée en énergie, le champ de recherches de nouvelles particules (Higgs, particules supersymétriques) est sans cesse renouvelé. Un travail intensif a été effectué sur les chaînes d'analyse, pour produire les premiers résultats quelques semaines après la prise des données.

(*A. Djannati-Ataï*, *J. Dolbeau*)

5.3. Les performances des détecteurs

Le détecteur à « pixels » (damiers de $330 \mu\text{m} \times 330 \mu\text{m}$), conçu et réalisé par une collaboration entre le Laboratoire, le CPP de Marseille et les Universités de Karlsruhe, Milan et Wuppertal, a fonctionné à une couche en 1996. Le détecteur, complété de sa deuxième couche de pixels a été remis en place et sera opérationnel

dès le début des prises de données 1997. Ce détecteur améliore sensiblement la reconnaissance des traces vers l'avant (entre 10° et 25°), et complète la couverture angulaire de DELPHI, indispensable à la recherche de nouvelles particules.

(C. Boutonnet, B. Courty, G. Desplancques, L. Guglielmi, A. Guimard, J.-J. Jaeger, P. Tardy, G. Tristram, J.-P. Turlot, J. Vergne, J.-P. Villain, J. Waisbard)

L'amélioration du système de contrôle des paramètres de fonctionnement de la TPC, principal détecteur de traces chargées de DELPHI, se poursuit.

(C. Boutonnet, J. Dolbeau, J. Mas, J.-P. Turlot)

Le système d'acquisition de données du grand détecteur de rayonnement Čerenkov à imagerie annulaire (barrel RICH) ainsi que le système de calibration automatique, réalisés au Laboratoire ont parfaitement fonctionné tout au long de l'année.

Le bi-processeur d'acquisition destiné à contrôler le flux de données de DELPHI, a vu sa mise au point retardée, mais il sera installé à partir de la fin de l'été.

(L. Guglielmi)

La gestion des simulations de l'ensemble de collaboration sur le CCIN2P3 a été assurée par S. Lantz et C. Poutot.

Le groupe DELPHI du Laboratoire a impliqué comme physiciens :

P. Beillière, J.-M. Brunet, C. Defoix, A. Djannati-Ataï, J. Dolbeau, P. Lutz et G. Tristram

6. Recherche du plasma de Quark-Gluons (QGP)

Le spectromètre Oméga a été utilisé pour des expériences sur les collisions relativistes d'ions lourds de 1987 (expérience WA85) à 1996 (expérience WA97). L'expérience WA97 (plomb-plomb à 167 GeV/c par nucléon) a pu recueillir des données pendant 3 périodes (1994, 1995, 1996). Environ 300 millions de triggers ont été enregistrés.

Pour la recherche du plasma de quarks et gluons, nous avons analysé les particules étranges, et les données de 1995 ont fourni les résultats suivants :

Types de particules	Rapport des taux de production
$\bar{\Omega}/\Omega$	$0,54 \pm 0,13$
$(\Omega + \bar{\Omega})/(\Xi + \bar{\Xi})$	$0,16 \pm 0,1$

Ce rapport anti-étranges/étranges pour être la signature de la présence d'un plasma de quarks et de gluons devrait atteindre une valeur de l'ordre de 1. L'expérience WA85 avait obtenu des valeurs autour de 0,3 en interaction soufre-

tungstène à 200 GeV/nucléon. Ces expériences du Hall Ouest ainsi que celle du Hall Nord — la suppression du J/Ψ dans NA50 — donnent des résultats en faveur de la présence du QGP. Cependant elles ne le démontrent pas formellement même avec le faisceau de plomb à 160 GeV/nucléon.

Nous avons pris en charge le programme d'acquisition de données des chambres et mis en place le système de surveillance en ligne. Actuellement nous participons à l'analyse des triggers, mais la mise au point de la chaîne des programmes a pris du retard en raison du décès du responsable. La collaboration pense pouvoir présenter des résultats définitifs en 1998.

Le grand apport de l'expérience est le fait que, parmi 600 particules, on a réussi à mesurer quelques traces émises à grand moment transverse et à reconstruire des particules étranges.

Cette reconstruction fine est possible grâce aux plans de pixels successifs. Cependant l'apport du Laboratoire, à savoir les chambres à damiers (*A. Diaczek, M. Pairat*), est essentiel pour parfaire la reconstruction et améliorer les erreurs. La dernière, construite en 1996, a été financée sur les crédits de fonctionnement du Laboratoire.

Tant pour le faisceau de protons que pour celui d'ions Pb, le Laboratoire a également fourni l'ensemble des cibles et des compteurs de faisceau, en particulier les compteurs ultra-minces pour les ions Pb (*Čerenkov* à la silice).

Cette expérience se continuera en une autre configuration dans le hall Nord et elle servira en plus aux tests pour les expériences LHC.

Le Laboratoire a assuré une présence continue en 1996 pour assurer la prise de données aussi bien en proton qu'en ions.

Le groupe de physiciens qui a mené à bien ces expériences est : *M. Sené, R. Sené, A. Volte*, avec la participation majeure de *S. Szafran* pour les systèmes informatiques.

7. R & D sur des détecteurs pour la matière noire

7.1. Détection bolométrique de matière noire, expérience EDELWEISS

Dans le cadre général de la recherche de matière noire dans l'univers, nous avons été, au Laboratoire, initiateurs de recherche et développements en vue de la détection directe de particules qui pourraient constituer une partie importante de cette matière sous une forme exotique.

Ces études se sont concrétisées au sein de la collaboration EDELWEISS qui regroupe des laboratoires du CNRS (INSU, IN2P3) et du CEA (DSM/DAPNIA, DSM/DRECAM). Notre équipe a réalisé l'installation de l'expérience au LSM.

Depuis janvier 1995, une série de mesures a été réalisée, suivie aussitôt d'une première analyse qui nous a permis d'annoncer un seuil de détection de 3 keV

(énergie de recul de noyau) et un taux de bruit d'environ 15 événements par kg par jour et par keV au dessus de 10 keV.

Le Conseil Scientifique de l'IN2P3, a apprécié ces mesures et encouragé la collaboration à poursuivre ses efforts. Depuis 1996 nous avons publié nos premiers résultats dans la revue *Astroparticle physics*.

Cela étant l'équipe du Laboratoire a dû se désengager progressivement pour regrouper les forces du Laboratoire sur les axes principaux définis.

D'autre part nous avons gardé des liens étroits avec le LSM et la communauté des physiciens et techniciens concernés par ce type d'expérience en site protégé des rayons cosmiques.

A. de Bellefon et *D. Broszkiewicz* ont participé à ces développements

7.2. Détection de matière noire par cristaux scintillants

L'expérience BPRS (Beijing, Paris, Rome, Saclay) de recherche des WIMPs s'est officiellement arrêtée en 1996. Le groupe de Rome continue au Gran Sasso avec les 120 kg de cristaux scintillants et les Français reçoivent à Modane 2 cristaux payés par l'INFN à Crismatec.

Nous avons mesuré les 2 cristaux, qui sont de qualité équivalente à ceux livrés au Gran Sasso. Les analyses avec PSD (Discrimination sur la forme du signal) montrent l'existence d'une troisième population non clairement identifiée, ne consistant pas de neutrons. La recherche des WIMPs avec les cristaux scintillants est limitée par cette troisième population.

L'équipe de Saclay des cristaux scintillants a rejoint la collaboration Edelweiss tout en continuant pour le moment une analyse sur les cristaux scintillants. Le Laboratoire a décidé d'interrompre cette voie de recherche sur le plan expérimental.

En phénoménologie, nous gardons cependant un intérêt dans le cadre du GDR SUSY.

(G. Bordes, P. Beillière, P. Espigat et C. Tao)

C. Tao a un rôle de coanimatrice du groupe « stratégie » et un rôle d'experte dans la recherche du LSP (Lightest Supersymmetric Particle).

7.3. R & D sur les détecteurs à très basses températures

Le Laboratoire n'a plus poursuivi cette année qu'une partie de ces recherches, celle sur les jonctions tunnels. Le cryostat Orange a été utilisé cette année en collaboration avec J.-P. Maneval (ENS) et l'IPN de Lyon pour faire fonctionner et caractériser à très basse température (20 mK) des jonctions tunnels réalisées à l'ENS.

Ce programme de travail s'est achevé en juin 1996 en ce qui concerne la physique au Laboratoire, et est poursuivi par l'équipe de l'IPN de Lyon à laquelle nous avons remis l'ensemble cryogénique.

Le transfert a été effectué en octobre et les premières mises à froid ont eu lieu en décembre avec notre collaboration.

A. de Bellefon, Y. Giraud-Héraud et D. Broszkiewicz ont participé, au Laboratoire, à ces développements.

8. Théorie

8.1. Théories de jauge

8.1.1. Structure du proton

N. Arteaga-Romero, C. Carimalo, S. Ong sont en voie d'achever une étude de la photoproduction exclusive d'un méson Φ sur proton en tant que moyen d'investigation de la structure du proton

8.1.2. Collisions photon-photon

Le groupe du Laboratoire a une expérience et une compétence reconnues. Il s'intéresse aux développements faits auprès de DAPHNE et LEP200.

Il a collaboré avec d'autres physiciens à l'étude de générateurs d'événements photon-photon.

8.1.3. Physique des leptons excités

J. Parisi participe au réseau européen « The Structure of Matter » financé par le programme européen « Capital Humain et Mobilité ». Dans ce cadre,

- il a étudié la neutrino-production de neutrinos ou de muons excités, via des processus du type $\nu + \text{Noyau} \rightarrow \nu^* + X$, à partir de neutrinos de très haute énergie (de l'ordre de 10 TeV) issus de noyaux galactiques actifs (AGN) ;

- il a examiné la possibilité de production de leptons excités dans des collisions d'ions lourds à très haute énergie ;

- en collaboration avec *A. Nicolaïdis* (Salonique) et *S. Fredriksson* (Lulea), il étudie la production de paires de muons de très haute énergie dans les rayons cosmiques ;

- en collaboration avec *O. Panella, Y.-N. Srivastava* (Pérouse) et *A. Widom* (Boston), *C. Carimalo* a étudié la contribution d'un neutrino de Majorana lourd à la double désintégration bêta sans neutrino.

8.1.4. Étude des étoiles à neutrons

En collaboration avec *S. Fredriksson* (Lulea), le modèle des diquarks est utilisé pour l'étude des étoiles à neutrons.

Les physiciens suivants ont, dans l'année, participé aux travaux de ce groupe au Laboratoire :

N. Arteaga-Romero, C. Carimalo, A. Ichola, P. Kessler, S. Ong et J. Parisi.

8.2. *QCD et physique du quark top*

Au cours de l'année 96-97, une partie du temps a été consacrée à tenter de résoudre, pour la production semi faible d'un quark top aux collisionneurs hadroniques, le désaccord numérique entre le résultat de notre calcul dans le schéma de soustraction « deep inelastic » DIS et un calcul simplifié utilisant un schéma proche du schéma \overline{MS} .

Le calcul a donc été refait dans le schéma \overline{MS} , ce qui a en effet confirmé le désaccord.

Les difficultés proviennent de la définition des fonctions de distribution pour les quarks lourds, notamment en ce qui concerne la prise en compte des effets de seuil, ce qui a été confirmé par J. Stirling, membre de l'une des collaborations (MRS) qui construisent les fonctions de distribution.

Très récemment, le même désaccord a été observé par Willenbrock et collaborateurs, qui concluent que les fonctions de distribution pour les quarks lourds (CTEQ) nominalement présentées dans le schéma DIS ne satisfont pas à cette définition.

Par ailleurs dans le cadre du GDR SUSY, l'extension à la supersymétrie du générateur d'événements Eurojet a été entreprise. Cette extension existe pour Isajet et Pythia ; cependant il paraît utile d'une part de construire une entrée à la supersymétrie qui permette de s'affranchir au besoin des simplifications, par exemple, des modèles inspirés de la supergravité, d'autre part de poser la question de l'inclusion de la violation de la R-parité, dont il existe une indication expérimentale. Cette possibilité, pour le cas d'une violation explicite de la R-parité, est en cours d'introduction.

G. Bordes poursuit ces travaux dans le cadre de collaborations internationales.

9. *Calcul Parallèle*

9.1. *Activités de recherche*

Le groupe développe un programme de recherche fondé sur la simulation numérique Monte-Carlo reliés à la physique nucléaire ou corpusculaire.

Il a dû développer ou améliorer, dans le code GEANT, les simulations de basse énergie : rayonnement, transport, interaction, et notamment le suivi des neutrons pour les basses énergies jusqu'au domaine thermique, sur la base des codes de l'expérience du Bugey. Le couplage à GEANT permet de faire en une

seule passe une simulation neutronique du cœur d'un réacteur hybride sous l'action du faisceau de protons.

Incinération des actinides au moyen d'accélérateurs. L'étude est une simulation avec le logiciel GEANT, sous contrat avec EdF. Ce contrat a été prolongé pour 1996 en vue de la simulation avec GEANT du projet de réacteur hybride proposé par le Professeur Carlo Rubbia, et a permis la participation du groupe à l'audition parlementaire du 21 novembre 1996 à ce sujet.

Une thèse sur ce thème a été soutenue au cours de l'été 1997.

Simulation pour des applications en médecine nucléaire. Ce travail se fait en collaboration avec le CHU Saint Antoine. Il concerne l'optimisation des caméras à gammas et les méthodes de calcul dosimétrique. Ces derniers calculs se prêtent à une approche par parallélisation géométrique bien adaptée aux TN310.

Simulation de la canalisation des électrons par un cristal. Soutenue par le Programme International de Collaboration Scientifique (PICS), et par un contrat de collaboration internationale avec l'Institut des techniques physiques de Khar'kov (KFTI), cette activité porte sur la simulation de la propagation des particules chargées dans les solides.

Simulation de l'effet faisceau-faisceau dans les collisionneurs. Objet d'un contrat INTAS avec l'Union Européenne, dont *A. Jecic* est le coordinateur.

Radioactivité naturelle et artificielle de l'environnement. *J. Silva* a été invité à Salonique pour simuler avec GEANT des détecteurs en Germanium appropriés.

9.2. Moyens mis en œuvre par le groupe

2 T-Nodes, un TN310 et plusieurs PC reliés au réseau, et supportant les logiciels standard (PVM, GEANT...).

Les machines ont été financées par l'EdF, l'Union Européenne, la DRET et des crédits propres de l'IN2P3 et du Collège de France. Les frais de maintenance sont supportés par les crédits de fonctionnement IN2P3 du Laboratoire.

Les physiciens du groupe dans l'année ont été : *A. Jecic*, *J. Maillard*, *G. Maurel*, *J. Silva* et *F. Wolff-Bacha* (Boursière EdF)

10. Informatique

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

10.1. *Évolution des infrastructures*

10.1.1. *Les matériels et leurs systèmes d'exploitation*

Sur l'ossature d'un réseau local Ethernet :

— Le système VMS a été définitivement abandonné, la VAX principale du cluster étant trop onéreuse à entretenir. Le transfert vers UNIX est complet, sauf celui de la CAO mécanique qui sera terminé avant la rentrée 1997.

— 2 ALPHA/OSF1, 1 HP-9000/780/UNIX et 1 HP-9000/715/UNIX assurent les services généraux et la mise au point des programmes.

— 5 stations de travail SUN / UNIX servent à la CAO électronique.

— une gamme de serveurs plus modestes remplissent des tâches spécifiques.

10.1.2. *La politique d'équipement et les réalisations cette année*

En perspective de déménagements dans d'autres locaux une partie du réseau a été recâblée en paires twistées, pour assurer la compatibilité.

Une trentaine d'utilisateurs simultanés utilisent des terminaux X-Window, solution confortable, efficace, au moindre coût.

Sa fiabilité étant cruciale, nous nous sommes équipés d'un analyseur de réseau.

Le domaine de l'acquisition de données prenant de plus en plus d'importance, nous avons acquis cette année une chaîne de développement croisé (FasTrak) pour microprocesseurs PowerPC sous OS9, utilisé pour plusieurs expériences au laboratoire (Chooz, Auger, Hellaz).

Le laboratoire apporte un soutien important à l'installation au Collège de France d'un serveur WWW (World Wide Web), temporairement accueilli sur le serveur du Laboratoire.

10.2. *Assistance aux utilisateurs*

Plus de la moitié des informaticiens est en prise directe avec une ou plusieurs expériences. Ils développent les programmes de simulation et/ou d'analyse, d'acquisition et de visualisation des données, mettent en place les bases de données et les 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 facilitera le maintien et l'évolution d'outils généraux d'usage commun.

C'est en particulier le cas dans le domaine de l'acquisition de données, où de nombreux développements, regroupant plusieurs informaticiens et physiciens, sont en cours.

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

Les informaticiens du Laboratoire ont été cette année :

J. Boucher, R. Eschylle, M.G. Espigat, A. Faye, C. Fritsch, L. Gravereau, L. Guglielmi, R. Guillao, C. Lamy, L. Martin, J. Mas, R. Merzoug, C. Poutot, D. Poutot, L. Ramos, S. Szafran, F. Tembely, M. Touré et J.-P. Villain.

11. *Activités en électronique*

Récemment restructuré en service, le groupe d'électronique contribue de façon très étroite aux diverses expériences du Laboratoire. De petites équipes, ou des individualités, apportent leurs contributions à la plupart des activités.

Globalement, hélas, le nombre d'électroniciens diminue. Certains postes font défaut, certains savoir-faire vont se perdre si aucun recrutement n'a lieu au bon niveau avant que les anciens ne partent en retraite. Le manque de jeunes formés aux nouvelles techniques et technologies, apportant le souffle des enseignements récents des écoles d'ingénieurs est à présent dramatique. La présence momentanée d'un jeune ingénieur en CDD nous fait bien sentir ce manque, et apprécier ce que pourrait être ce groupe avec seulement deux jeunes embauchés.

11.1. *Réalisations récentes ou en cours*

DELPHI - VFT : Montage, installation et mise au point sur site de la totalité du détecteur VFT dans le puits de Delphi (1,2 millions de pixels). Test du système d'acquisition

Neutrinos à Chooz : Fabrication de 6 cartes Fastbus comportant 8 voies de « flash ADC » pour la digitisation des signaux à 200 MHz, en collaboration avec la société CAEN (valorisation).

Mise au point des 6 cartes et équipement sur site.

Installation de la régulation et du contrôle des fluides

Astro-particules : Motorisation d'un porte-filtres pour le T55 du Pic du Midi

Écriture et mise au point d'un pilote pour une caméra CCD

Hellaz : Étude comparative de deux préamplificateurs intégrés pour la chambre HELLAZ 1.

Installation de 200 voies de préamplificateurs sur la chambre actuelle ; R & D sur l'électronique de lecture de chambres type MGWC (en collaboration avec l'IREs de Strasbourg)

Auger : Étude et réalisation d'une carte d'acquisition et de dialogue à base de micro-contrôleur Power PC, pour le contrôleur de station locale (3 200 exemplaires envisagés).

Étude, en collaboration avec l'ENST, et dans le cadre d'un stage de fin d'études, du système de communication entre stations.

11.2. Activités d'intérêt général

Un AI électronicien/informaticien (par ailleurs également « assistant micro »), assure pour l'ensemble du Laboratoire :

— le fonctionnement et l'assistance logicielle pour les 7 postes d'IAO/CAO électronique : implantation de circuits imprimés, simulation logique et analogique, PIC designer, Artist, etc.

— la mise à jour de leurs logiciels.

Un électronicien assure la gestion du magasin : stock courant, commandes, maintenance, documentation etc., pour l'ensemble du groupe, tout en participant à l'installation de l'expérience de Chooz.

Les électroniciens du Laboratoire sont : *M. Abbès, C. Aubret, C. Boutonnet, D. Broszkiewicz, R. Bruère-Dawson, B. Courty, P. Courty †, G. Desplancques, C. Finetin, A. Guimard, J.-J. Jaeger, D. Monnot, F. Roger, S. Selmane, P. Tardy, J.-P. Turlot, J. Vergne, J. Waisbard*, assistés de *J.-P. Villain* pour la CAO : ceci accuse une diminution de trois par rapport à l'année dernière (une mutation, un départ à la retraite et un décès).

12. Activités en Mécanique

Le groupe de Mécanique est une base essentielle de la construction des expériences du Laboratoire, et il contribue à ce titre à la plupart d'entre elles.

Themistocle - Cat - Celeste : • Réalisation, tests et installation sur le site de Thémis d'un ensemble composé de deux héliostats jumelés pour l'étude des gammas cosmiques.

(*C. Robert*)

• Réalisation d'un lidar pour l'étude de la transparence atmosphérique sur le site de Thémis.

— Montage et réglage du faisceau laser.

— Étude et réalisation des mouvements à commande électropneumatique des déplacements en coordonnées équatoriales.

(*D. Marchand, J.-P. Rény*)

AGAPE : • Montage d'une caméra CCD sur le télescope de 55 cm du Pic du Midi.

• Réalisation d'un dispositif de changement de filtres, et de réglage en profondeur de champ à commande électropneumatique.

• Étude d'amélioration des déplacements du télescope T55 en coordonnées équatoriales.

(*F. Lelong, D. Marchand*)

Neutrinos à Chooz : • Remplissage synchronisé des deux enceintes du détecteur en liquide scintillant.

- Vidange et remplissage partiel.
- Installation d'un système de prélèvements pour l'échantillonnage des liquides.
- Développement d'un système de contrôle par microcontrôleur.
- Suivi et contrôle technique des installations du détecteur.

(*P. Guillouet, P. Salin*)

Hellaz : • Prototype Hellaz-1

- Études et réalisation d'anodes pour la chambre à fils du détecteur TPC.
- Études et réalisation d'une cage de dérive pour la TPC.
- Études d'un ensemble pour la réalisation d'un banc-test de mesures angulaires à compteurs au CsI.

(*M. Pairat*)

- Développements et modifications du prototype, support de la TPC, modifications de l'enceinte à gaz.

(*A. Diaczek*)

• Prototype Hellaz-2

- Développements, études et réalisation d'un HPD (Détecteur de Photons Hybride).

(*J.-P. Jobez*)

- Réalisation et installation d'un château de protection à bas bruit de fond au Laboratoire Souterrain de Modane, pour la caractérisation des matériaux.

(*J.-P. Rény, B. Yoffo*)

Les mécaniciens du Laboratoire pendant l'année ont été : *P. Bonierbale, A. Diaczek, B. Didierjean, P. Guillouet, J.-P. Jobez, F. Lelong, M. Pairat, J.-P. Rény, C. Robert, P. Salin et B. Yoffo*

13. Services généraux

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

Secrétariat administratif et scientifique :

C. Bréon-Hussenot, E. Brochet, D. Cerverra, H. Le Bihan, C. Masson, V. Saïnz.

Bibliothèque et Documentation :

J. Come-Garry, S. Lantz, D. Levailant, F. Ott.

Service intérieur :

H. Ahamada, Y. Alger, D. Bilem, B. Coppolani, S. Hellal, J. Le Fur, B. Marie-Catherine, S. Néchal, Y. Ounich, D. Polard, J.-A. Yoro.

Imprimerie et photo :

G. Arbousse-Bastide, J.-C. Couillard, X. Le Tan, M. Soumana.

Sécurité : *O. Sokolsky*

14. *Publications du Laboratoire*

L'analyse des publications du Laboratoire doit tenir compte de la maturité des expériences, des efforts de créativité et de mise au point, ou simplement de l'ampleur de la collaboration.

On se référera pour les détails des publications aux pages Web du Laboratoire, dont nous rappelons l'adresse : <http://cdfinfo.in2p3.fr>

Expériences en développement. Une expérience en développement ne donne guère lieu à publications.

Le projet Pierre Auger n'a publié au Laboratoire qu'un rapport de stage de DEA, ce qui donne une idée erronée de l'ébullition intellectuelle de la collaboration. Les documents y circulent — souvent sur le réseau électronique — et ne sont pas publics.

Le projet HELLAZ est aussi dans les limbes, mais la collaboration y est beaucoup plus restreinte. Il lui faut rallier des enthousiasmes, présenter l'état de l'art, des réalisations déjà faites, et souligner les aspects attirants. On a ainsi 5 communications, d'assez large audience.

Les recherches sur la matière noire en sont également au stade des recherches et développements, qui ont donné lieu à 3 publications ou présentations plus axées sur la faisabilité que sur des résultats.

On rattachera à ces publications celles se rapportant à des développements techniques ou instrumentaux d'intérêt général (4 papiers).

Le groupe de calcul parallèle a publié 6 articles sur la propagation d'électrons énergiques dans des cristaux, et un sur les réacteurs nucléaires hybrides.

Les travaux théoriques sont, du point de vue de l'expérience, soit un début, soit une fin, mais toujours un précieux stimulus. On range 3 articles dans cette dernière catégorie.

Expériences débutantes. On ne peut pas dire au juste quand une expérience a débuté, dans la mesure où il faut qu'elle réunisse un minimum de statistique pour pouvoir dire qu'elle a débuté.

On peut néanmoins compter dans ce groupe l'expérience AGAPE de recherche de microlentilles sur un fond d'étoiles non résolues, qui a donné lieu à un article et 3 rapports ou exposés rédigés.

Bien qu'en construction depuis longtemps, l'expérience sur les neutrinos auprès du réacteur de Chooz commence à réunir des données, et la thèse d'un étudiant est arrivée à point nommé pour l'analyse. Par ailleurs, 2 rapports de stage sont enregistrés. Les données en cours d'acquisition et d'analyse sont tenues secrètes, en attendant la première publication.

Expériences mûres. Une expérience mûre est normalement en pleine production de publications. Le nombre de ces articles dépend de son volume, et en premier lieu du nombre de physiciens qui se livrent à l'analyse.

L'expérience DELPHI est forte d'environ 400 physiciens, et peut produire un grand nombre de publications, auxquelles toute la collaboration en général s'associe. Le nombre de publications signées par des membres du Laboratoire dans DELPHI pour l'année est de 25, dont 22 sont des publications ordinaires de DELPHI, les 3 autres étant des rapports plus spécialisés, de diffusion plus restreinte.

La série des expériences sur les Ions lourds relativistes est en voie de se terminer, par mise hors service de sa zone d'expérience.

De volume bien inférieur, par le coût et par le nombre de physiciens, à DELPHI, elle a établi un corpus important sur la production de particules étranges et anti-étranges à grand angle, en fonction de la taille des noyaux en jeu. Ceci servira de base pour l'étude du plasma de quarks et de gluons. Dans l'année de référence, 7 articles ont ainsi été diffusés.

15. *Ouverture du Laboratoire vers l'extérieur*

15.1. *Participation à des conférences*

On n'énumèrera pas ici la liste des participations de membres du Laboratoire à des conférences. On se reportera, ici comme ailleurs, à la version in extenso, consultable sur le Web à l'adresse <http://cdfinfo.in2p3.fr>.

On décompte 5 participations actives à l'organisation de conférences, 1 à l'édition des comptes-rendus, 1 invitation à présider une séance, 4 exposés invités, 12 présentations de travaux et 15 autres participations. On ne compte pas les nombreux séminaires et réunions de discussion de collaboration, qui ne sont même pas toujours répertoriés de façon fiable dans les rapports de recherche individuels.

15.2. *Fonctions d'intérêt scientifique général*

J.-N. Capdevielle a été reçu membre de l'Académie des Sciences d'Outre-Mer (6/12/96)

De nombreux membres du Laboratoire remplissent des fonctions de conseiller, que ce soit au Comité National de la Recherche Scientifique, au Conseil National des Universités ou à ses commissions de spécialistes, au Conseil scientifique du Programme National de Cosmologie, au Conseil scientifique du Laboratoire Scientifique de Modane, auprès du Chargé de Communication de l'IN2P3, au Comité technique de l'Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire (IPSN), au Conseil Supérieur de Sécurité et d'Information Nucléaire, voire comme consultant auprès de l'équipe de construction de RHIC à Brookhaven (USA).

15.3. Enseignements

Une variété d'enseignements a été donnée par des membres du Laboratoire à côté de leurs tâches de recherches. Il est à noter que les ingénieurs ont pris une part importante à ces travaux : micro-processeurs DSP (50 h), Connaître le CNRS pour agir (30 h), Physique des Particules en Maîtrise (1 semestre), techniques de base des détecteurs (30 h), Le système OS9 (24 h).

15.4. Traductions de livres

A. Bouquet et J. Kaplan : « Trous noirs et distorsion du temps » de K.-S. Thorne, éd. Flammarion (1997)

A. Bouquet : « L'origine de l'Univers » de J.-D. Barrow, éd. Hachette (1997)

15.5. L'effort de formation au Laboratoire

15.5.1. Les efforts généraux de formation

Le Laboratoire a un actif tout à fait honorable dans ce domaine, étant dans les premiers rangs pour la formation, pour progression professionnelle, pour reconversion.

La grande mutation qui concerne tous est le recours à l'informatique.

Ces formations reposent sur des opérations lourdes (5 en cours, dont une à mi-temps), sur les Écoles thématiques organisées par l'IN2P3 et le CNRS (10 personnes, de 3 à 10 jours chacune), sur les écoles pour jeunes chercheurs (2 à Autrans, 1 à Casablanca), et enfin sur tout un ensemble de stages individuels à tous niveaux, tant pour le personnel dépendant du Collège de France que pour celui dépendant du CNRS/IN2P3 :

— Informatique : 26 stages concernant 17 agents, en particulier 3 personnes qui ont suivi l'École de Tunis sur le Web ;

— Électronique : Cette année a connu des formations de nature plus fondamentale que pratique.

— Mécanique : techniques nouvelles : CAO, ultra-purification, enceintes propres, technique des détecteurs, cryogénie, etc.

— Bibliothèque - Documentation : l'utilisation de WWW et la gestion informatisée amènent une mutation profonde. 6 personnes ont pu participer à des séminaires de l'IN2P3 sur « Créer et Gérer un serveur WWW ».

— Administration : 2 secrétaires-gestionnaires ont suivi une école de l'IN2P3. En outre, des formations ont été suivies pour pouvoir utiliser les logiciels CNRS : XLAB de gestion des crédits du CNRS/IN2P3 et LABINTEL de suivi des personnels.

Il est intéressant de souligner que presque tous les services sont concernés et que, en 1996/97, **35** agents dont 1 chercheur ont suivi à l'extérieur **150** jours de stage ou école, pour un total de plus de **1 100** heures.

15.6. *Activités diverses*

« **Hands On Universe** » (**HOU**). Le projet américain « Hands on Universe » permet aux élèves du secondaire de manipuler des images de télescopes professionnels sur les ordinateurs de leur école, avec des logiciels pédagogiques.

Du côté français, les expériences similaires depuis une dizaine d'années, sans réseaux informatiques, sont restées théoriques, bien que les réseaux de la recherche permettent maintenant à certains observateurs formés d'envoyer des images.

Nos programmes liés à l'astrophysique peuvent nous inciter à jouer un rôle dans cette entreprise.

La physique en marche. Le Directeur de l'IN2P3 a formé un groupe de travail pour préparer 5 conférences destinées à être présentées dans un grand nombre de lycées en France avec le soutien du CNRS et du ministère de l'éducation nationale.

D'autres actions sont également faites à titre individuel.

15.7. *Accueil de chercheurs*

Le Laboratoire a accueilli 15 stagiaires de niveaux variés, 7 doctorants, dont 2 soutiennent leur thèse ce printemps, 5 post-doctorants, et 11 visiteurs de haut niveau, dont 1 Prix Nobel, Professeur Invité au Collège de France pour un mois.

16. *Séminaires*

17/10/96 — *Jean-Noël Capdevielle* (LPC) : Compte-rendu du 15^e Symposium Européen des Rayons Cosmiques de Perpignan.

24/10/96 — *Jean-Yves Ollitrault* (CEN-Saclay) : A-t-on vu le plasma de quarks et de gluons au CERN ?

7/11/96 — *Hoang Ngoc Long* (Hanoi) : Experimental prospects in $SU(3)_{\text{color}} \otimes SU(3)_{\text{left}} \otimes U(1)_N$ models.

14/11/96 — *Paul Colas* (DAPNIA) : Nouvelles mesures de R_b et R_c dans ALEPH.

21/11/96 — *Robert Mochkovitch* (IAP) : Les explosions de supernovae.

28/11/96 — *Pilar Ruiz-Lapuente* (MPI, Garching & U. de Barcelone) : Type Ia supernovae — nature and cosmological uses.

5/12/96 — *Daniel Froidevaux* (CERN) : Mesures de précision en supersymétrie avec l'expérience Atlas au LHC.

12/12/96 — *Dimitri Nanopoulos* (Texas A & M University) : Radiative Decay Signatures of Supersymmetry, Enlightening Supergravity.

19/12/96 — *Maria-Celia Perillo-Isaac* (LBL-INPA) : Perspectives de l'ONS (Observatoire de Neutrinos de Sudbury).

9/1/97 — *Arthur Schaffer* (LAL Orsay) : Les développements de l'Orientation — Objet en HEP.

16/1/97 — *Jean-Yves Grossiord* (IPN Lyon) : Le surplus de suppression du J/Ψ en réaction Pb-Pb à 158 GeV par nucléon.

23/1/97 — *Kerstin Hoepfner* (Technion-Haïfa) : Search for Neutrino Oscillations at Accelerators.

30/1/97 — *Adel Bilal* (ENS) : Dualité en théories de jauge supersymétriques.

6/2/97 — *Didier Vilanova* (DAPNIA-SPP) : Recherche de Bosons de Higgs au LEP dans l'expérience Delphi.

13/2/97 — *Arache Djannati-Ataï* (LPNHE) : Les premiers résultats de l'expérience CAT pour l'astronomie gamma de très haute énergie.

20/2/97 — *Michael Punch* (LPC) : Compte-rendu de la XXXII^e rencontre de Moriond « Very High Energy Phenomena in the Universe ».

27/2/97 — *Giovanni Fiorentini* (INFN, Ferrara) : Where we are and what's next ?