

Physique corpusculaire

M. Marcel FROISSART, professeur

Les phénomènes cataclysmiques dans l'Univers

1.1. Les sursauts gamma

Un phénomène a provoqué un cataclysme dans l'univers clos des astrophysiciens cette dernière année : c'est la découverte de la contrepartie optique de sursauts gammas, qui a permis notamment de les situer à une distance largement extragalactique.

Un sursaut γ se caractérise par une émission brève de rayons γ mous pendant quelques secondes, puis un ramollissement de l'émission jusqu'à la bande X.

Le satellite CGRO et son détecteur BATSE ont détecté une bonne statistique de sursauts γ , apparemment dispersés au hasard dans toutes les directions. Ceci peut relever d'une origine très éloignée, aussi bien que d'une origine assez locale. Compte tenu de la difficulté à apercevoir les contreparties du sursaut γ dans le domaine optique, malgré la bonne reconstruction de la contrepartie X, il a été suggéré que la première diminuait plus vite que la seconde. Un système d'alerte systématique a été mis en place à partir de BATSE, pour lancer une observation optique dans la direction approchée à l'aide d'un télescope dédié, GROCE.

Ce n'est que le 28 février 1997 qu'un sursaut γ était observé en coïncidence par plusieurs satellites, dont Ulysses, situé alors à 1988 secondes-lumière de la Terre. Ceci a permis une excellente détermination par différence de temps, et le HST a été braqué dans cette direction, notant une contrepartie de 20^e magnitude optique, soit 10 de plus que la limite de GROCE. Le 8 mai, une contrepartie optique était observée par l'observatoire de Kitt Peak, avec une intensité suffisante pour faire un spectre, montrant que $z > 0,8$, et donc une énergie totale supérieure à 10^{51} erg. Le sursaut γ est donc un événement rare, mais d'une puissance énorme, comparable à la masse au repos d'une étoile ($M_{\odot} c^2 = 2 \cdot 10^{54}$ erg).

Le 28 août, malheureusement, pour une alerte d'intensité comparable dans le domaine γ , rien n'a été observé ni par Kitt Peak, ni par La Palma, jusqu'à une

magnitude de l'ordre de 23,8. Ceci montre une grande hétérogénéité de ces phénomènes.

La décroissance paraît, par contre, raisonnablement décrite par une loi en $1/t$ qui peut se comprendre comme l'effet de retard d'une onde, qui est collimatée par un effet universel relativiste d'expansion dans un cône d'ouverture $1/\Gamma$, où le facteur Γ est le facteur de Lorentz de la matière éjectée.

La quantité d'énergie mise en jeu fait penser à des processus rares mais extrêmement énergétiques comme la fusion d'un couple binaire serré, ou la chute d'une étoile à neutrons dans un trou noir. La nature et la dynamique de cet événement restent en tout état de cause imprécisées. Il en résulte une centaine de modèles, dont nous avons tenté de tirer les lignes générales.

En présence d'un phénomène mettant en jeu une telle énergie, il est tentant de faire des suppositions sur le rôle qu'il pourrait jouer dans l'accélération de rayons cosmiques d'ultra-haute énergie (10^{20} eV). Cependant, une telle distance fait jouer à fond le phénomène de Greisen-Zatsepin-Kuzmin, qui ralentit rapidement les rayonnements au-dessus de cette énergie.

1.2. Les noyaux de galaxie actifs

Il semblerait que la plupart des galaxies, à commencer par la nôtre, soient dotées en leur centre d'un trou noir de $10^{6-8} M_{\odot}$. Certains (AGN) sont extrêmement actifs, probablement en raison du fait qu'ils consomment beaucoup de la matière de leur voisinage, tandis que d'autres sont à peine discernables, éventuellement parce qu'ils ont balayé l'essentiel de leur voisinage, et ne sont donc plus en état d'émettre.

Un tableau généralement adopté est l'existence d'un bourrelet équatorial, en rotation rapide, par conservation du moment angulaire, se rapprochant plus ou moins du trou noir central selon la quantité de matière existante, et tombant sur ce dernier en forme de disque. Perpendiculairement au disque, un vortex essentiellement électromagnétique constitue un accélérateur centrifuge pour les quelques particules qui y parviennent.

L'observation de ces systèmes dépendra beaucoup de leur géométrie, de leur vitesse, toujours relativiste, et de l'angle de vision. C'est ainsi que l'on aura une grande variété d'apparences possibles. Mais on peut retrouver une certaine logique en invoquant deux variables principales : le moment angulaire total, qui contrôle largement le bruit d'émission radio, et l'angle de perspective, allant de l'équatorial au polaire.

Ceci rend compte raisonnablement de tout un ensemble d'aspects *a priori* différents. Le satellite EGRET a détecté de nombreux blazars, interprétés comme des AGN vus dans l'axe, avec de légères différences dans l'ouverture géométrique de leur cône d'éjection, dans la gamme de facteurs de Lorentz Γ qui y règnent.

Un fond γ diffus a été également détecté, et pourrait être le résultat de la somme d'émissions de blazars non résolus. Cette dernière interprétation donnerait de la force à l'hypothèse que le nombre d'AGN a été dans le passé bien plus grand qu'actuellement, ce qui pourrait se faire si chaque galaxie possédait en son centre un résidu d'AGN, dépourvu d'aliments.

Une étude récente faite avec le HST, a montré l'existence de deux types nettement distincts de profils de luminosité des bulbes de galaxie spirale et des galaxies elliptiques : les uns relativement plats au centre, les autres pointus jusqu'à la limite de résolution. Ces derniers correspondraient à une famille de galaxies munies en leur centre d'un trou noir contenant de 0,001 à 0,02 de la masse vue.

Le problème de la détermination de la masse interne d'un ensemble étant néanmoins instable du point de vue mathématique, il n'est pas sûr que même les observations du HST avec leur seeing de 0,1" donnent une détermination à laquelle on puisse faire confiance.

1.3. Autres phénomènes cataclysmiques

Bien d'autres phénomènes dans l'univers mettent en jeu des énergies qui peuvent les ranger au rang des cataclysmes. Certains sont à peu près bien connus, comme les supernovae, par exemple, d'autres beaucoup moins.

Citons par exemple le problème des « répéteurs γ mous », qui peuvent dégager pendant de courts instants des puissances très comparables à celle d'une supernova ($5 \cdot 10^{44}$ erg/s), mais évidemment pendant des temps bien inférieurs. Ils sont difficiles à étudier, car on n'en connaît que trois, qui apparaissent de façon aléatoire, plusieurs fois par an. Ils sont à basse énergie (50 keV), mais sont 100 fois plus brillants que le Crabe. Ils apparaissent tous trois liés à des restes de supernova plus ou moins récents, et émettent un fond continu en X de quelques 10^{35} erg/s. Malgré le manque de stabilité de leurs émissions, il semblerait que leur spectre soit relativement constant, ce qui exclut tout mécanisme thermique.

Un récent modèle, amusant, en fait des étoiles à Λ , juste à la limite entre étoiles à neutrons et trous noirs. La surface est de la matière neutronique comprimée, conductrice ohmique, tandis que le cœur très dense, constitué de plasma de quarks u , d et s est supraconducteur et superfluide. Le ralentissement de la rotation amène à l'expulsion de tubes de flux liés à des tubes de vorticité, par un mécanisme tectonique de réarrangement de plaques dans l'écorce ohmique. Ceci se traduit par une forte impulsion de paires e^+e^- et effet Compton inverse sur le champ du pulsar, donnant les γ observés.

2. Les grandes lignes d'activité du Laboratoire

Le présent rapport d'activité chevauche la naissance au 1/1/98 du Laboratoire de Physique Corpusculaire et Cosmologie, Unité Mixte de Recherches 7553 entre le CNRS/IN2P3 et le Collège de France.

La nouvelle unité s'oriente pleinement vers les trois thèmes de physique approuvés précédemment par le Comité Scientifique regroupant les deux tutelles : l'étude des rayons cosmiques, des neutrinos, et de la cosmologie observationnelle.

Les engagements relatifs aux activités antérieures du Laboratoire de Physique Corpusculaire arrivent par une douce transition à leur terme, à l'exception de l'expérience DELPHI auprès du LEP, où un groupe du Laboratoire participe à la maintenance du nouveau détecteur de vertex à pixels de silicium installé en 1996.

Les rayons cosmiques

L'étude des rayons cosmiques se partage entre les 3 expériences sur le site de THEMIS, THEMISTOCLE et CAT en prise de données, CELESTE en phase de R & D d'une part, et la préparation du projet AUGER qui vise la détection des cosmiques d'énergie supérieure au million de TeV, d'autre part.

Les mesures réalisées par CAT entre le printemps et l'automne 1997 ont montré un comportement surprenant de la source extragalactique Mrk501. La mise en évidence de l'accroissement de sa luminosité en sursauts brefs, et la mesure des spectres d'émission apportent des éléments importants pour la compréhension de la physique des AGN. Le Laboratoire a poursuivi les développements sur l'acquisition et le transfert des données dans le projet AUGER, dont la décision de construction du site de l'hémisphère austral est proche.

Les neutrinos

Le thème des neutrinos recouvre deux projets distincts. HELLAZ est un projet de longue haleine, destiné à mesurer en détail la totalité du spectre des neutrinos solaires. Le stade actuel du projet est une recherche et développement menée par le Laboratoire pour établir la faisabilité d'une mesure précise de l'énergie et de la direction d'un électron de 200 keV. Des résultats favorables ont été obtenus récemment.

L'expérience de recherche des oscillations de neutrinos à CHOOZ, à laquelle le Laboratoire a fortement contribué, vient de publier ses premiers résultats, qui permettent d'éliminer l'une des hypothèses expliquant la disparition des neutrinos atmosphériques. Cet important résultat va influencer sur la définition des nouveaux programmes de physique du neutrino.

Cosmologie observationnelle

Au Laboratoire, cette activité en émergence s'appuie sur trois axes, échelonnés dans le temps :

- l'expérience AGAPE de recherche de matière noire baryonique en direction de la galaxie d'Andromède, qui donne ses premiers résultats, compatibles avec l'effet de lentille gravitationnelle ;

- la recherche de supernovæ de type Ia, indicateurs de distance qui conduiront à une meilleure détermination de la constante de Hubble, recherche qui se poursuit au moyen des télescopes du Pic du Midi, en relation avec l'expérience EROS ;

- la participation au projet embarqué sur satellite PLANCK, qui devrait dans quelques années permettre une avancée décisive en cosmologie par la mesure précise des anisotropies du rayonnement cosmique fossile. Le Laboratoire va porter principalement son effort technique, avec l'IAS, sur l'étalonnage des détecteurs bolométriques et de l'optique. D'autre part, un groupe de modélisation, simulation et analyse des données se met en place au Laboratoire.

Face à une pyramide des âges défavorable, la réussite du programme global des trois axes de physique au Laboratoire nécessite l'arrivée de jeunes chercheurs, ingénieurs et techniciens. Un appui soutenu, tant du Collège de France que de l'IN2P3, est crucial à cet égard.

3. Cosmologie Observationnelle

Les sujets de recherche du groupe de Cosmologie Observationnelle sont axés sur la description macroscopique de l'Univers, la détection de la matière, en grande partie invisible, qui le constitue et la mesure des anisotropies du fond diffus cosmologique. L'année 1997-1998 a été marquée :

- par l'analyse des observations de la collaboration AGAPE sur le Télescope Bernard Lyot (TBL) de l'Observatoire du Pic du Midi et la mise en place d'une collaboration élargie qui donnera accès à des télescopes à grand champ ;

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

- par notre entrée dans la physique des anisotropies du rayonnement à 3 K par notre implication dans le programme PLANCK approuvé par l'ESA (modélisation, analyse de données et mise en place du banc de calibration avec l'Institut d'Astrophysique Spatiale d'Orsay) et l'étude d'une participation au projet ARCHEOPS.

3.1. Recherche de matière noire baryonique

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

3.1.1. Effet de microlentille

L'une des hypothèses possibles est que cette matière noire soit de la matière ordinaire, dite baryonique, qui doit être alors organisée de façon non dissipative pour ne pas s'effondrer dans le disque galactique. Un mode d'organisation possible serait qu'elle se présente sous forme d'objets compacts sombres, par exemple des « naines brunes », étoiles trop petites pour que les réactions nucléaires s'allument.

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 et un groupe américano-australien ont recherché et trouvé de tels effets en direction du Grand Nuage de Magellan.

3.1.2. La méthode des pixels

Il nous a semblé naturel d'effectuer le même type de recherche en direction de la grande galaxie d'Andromède (M31), qui contient un très grand nombre d'étoiles. Mais la plupart des étoiles de M31 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.

Un avantage de cette méthode est d'explorer non seulement le halo de notre Galaxie, mais celui de celle servant d'arrière-plan.

Notre programme d'observation s'est étendu sur trois années (1994-1996) au Télescope Bernard Lyot (TBL) de 2 m du Pic du Midi. Nous avons obtenu environ 80 images de 6 champs de $4' \times 4,5'$ sur les régions centrales de M31 lors de 3 campagnes effectuées durant les périodes de visibilité d'Andromède. Les résultats que nous obtenons aujourd'hui montrent que nous atteignons les stabilités nécessaires à notre approche, ce qui nous rend sensibles à des effets de microlentille gravitationnelle sur des étoiles de faible luminosité apparente.

Les premières analyses basées sur une détection avec un seuil élevé sur les variations des courbes de lumière des pixels nous ont permis d'isoler 19 événements présentant une variation unique et compatible avec la forme de Paczyński attendue pour un phénomène de microlentille gravitationnelle.

Parmi ces candidats, celui présentant la variation la plus rapide est particulièrement spectaculaire. Profitant de l'existence des images du même champ de la galaxie d'Andromède prises sur le télescope spatial HST, nous avons pu en faire une étude approfondie, qui ne peut écarter l'hypothèse que cet événement soit une première détection d'un phénomène de microlentille gravitationnelle en direction de M31.

3.1.3. L'avenir

Devant la nécessité d'un accès à un télescope à grand champ qui permette d'accumuler une statistique suffisante pour étudier avec précision les halos de notre Galaxie et de M31, la collaboration s'est élargie. Elle inclut de nouvelles équipes françaises (Observatoire de Strasbourg), anglaises (QMW), suisses (Zurich) et surtout italiennes (Naples, Padoue, Lecce et Salerne). Ces dernières nous donneront accès au télescope de 1,5 m de l'observatoire de Capodimonte de Naples nouvellement mis en place.

3.2. Recherche de supernovæ de type Ia

3.2.1. Structure de l'Univers et supernovæ

La détermination des paramètres H_0 , Ω_0 et q_0 (caractérisant respectivement la vitesse d'expansion de l'Univers, sa densité et le ralentissement de son expansion) repose sur la comparaison de la distance d'objets lointains avec leur décalage Doppler vers le rouge z . En première approximation, z est proportionnel à la distance et le coefficient de proportionnalité est la constante de Hubble H_0 . En seconde approximation, l'écart avec une loi linéaire est caractérisé par le paramètre de décélération q_0 , fonction de la densité Ω_0 , et de la géométrie de l'univers.

Supernovæ de type Ia. La mesure des distances des objets lointains est donc un problème majeur de la cosmologie. Les supernovæ de type Ia (SN Ia) sont pratiquement des « chandelles standard », c'est à dire qu'elles ont toujours à peu près la même luminosité intrinsèque, et leur luminosité apparente permet alors d'évaluer leur distance. Ce sont en outre des objets très lumineux, visibles à de très grandes distances.

Objectif. Nous voulons accumuler des informations statistiques sur les SN Ia. En effet la dispersion des luminosités intrinsèques des SN Ia est aujourd'hui de l'ordre de 20 %, ce qui est insuffisant pour déterminer le paramètre q_0 . Des études ont montré qu'on peut diminuer cette dispersion par des corrections utilisant les corrélations entre la luminosité maximale et sa vitesse de décroissance, ou entre cette luminosité et le spectre de la supernova. Préciser ces corrélations requiert l'étude d'un grand nombre de supernovæ dans des conditions aussi voisines que possible.

3.2.2. Supernovæ

Nous participons à la recherche de supernovæ à faible distance dans le cadre du programme de mise à niveau du télescope de 55 cm du Pic du Midi, à la recherche de supernovæ à distance intermédiaire dans le cadre de la collaboration EROS, et à la recherche de supernovæ plus lointaines en liaison avec le *Supernova Cosmology Project* de S. Perlmutter (Berkeley). Cette implication dans des recherches de supernovæ à différentes distances (donc d'âges différents) permet

une première étude de la variation du taux d'explosion des supernovæ en fonction du temps, ce qui fait l'objet de la thèse de *Jean-Christophe Hamilton*.

T55. Le T55 est l'un des instruments les plus prometteurs pour la recherche de supernovæ à faible distance ($z < 0.1$). Selon nos simulations, de 5 à 10 supernovæ seront découvertes chaque mois en se focalisant sur les amas de galaxies du catalogue d'Abell. La proximité des télescopes de 1 m (TIM) et de 2 m (TBL) du Pic du Midi permet d'en effectuer le suivi photométrique et spectroscopique dans d'excellentes conditions.

L'adaptation du T55 à l'observation des supernovæ porte sur trois points principaux :

- Augmentation du champ d'observation à 1° carré Ceci a impliqué la construction et la mise en place d'un correcteur de champ au foyer primaire, avec un changeur de filtres et une caméra CCD qui actuellement couvre un champ de 0,125° carré ;

- Perfectionnement des mouvements en ascension droite et déclinaison. Ceci a mené au changement complet de la motorisation, la mise en place de codeurs angulaires absolus et une sécurisation des mouvements ;

- Refonte complète du système de contrôle des mouvements et de l'acquisition des données.

Ceci est réalisé par deux PC couplés, en vue d'une exploration entièrement automatisée des champs de galaxies.

L'ensemble de ces améliorations a été mise en place à la fin de 1997. Depuis le télescope est entré dans une phase d'essais et de mise au point : mise en station, alignements optiques, corrections des déformations. Les travaux actuels de réfection des bâtiments du Pic du Midi ont retardé sa mise en exploitation.

Le Laboratoire a pris une part prépondérante dans toutes les transformations mécaniques et la mise en place d'une exploitation automatisée du télescope qui devrait entrer en activité à l'été 1998 et débiter alors son programme de détection de supernovæ.

3.2.3. EROS

Le programme supernovæ de la collaboration EROS a obtenu de brillants résultats : 25 supernovæ ont été détectées en un an (4 à 5 pour chacun des mois où des observations ont eu lieu). La difficulté du programme se déplace maintenant vers le suivi photométrique et spectroscopique des supernovæ, qui nécessite une coordination entre plusieurs observatoires, et un effort important d'analyse.

Le nombre de fausses alertes dues à des rayons cosmiques a été considérablement réduit grâce à un programme que nous avons intégré au logiciel standard d'analyse. Une réduction similaire des fausses alertes dues aux astéroïdes est à l'étude.

Un programme d'analyse photométrique fine des supernovæ est développé au Laboratoire, permettant de réduire considérablement la dispersion des mesures de leurs magnitudes (le principal obstacle à leur utilisation cosmologique). Couplé avec notre programme parallèle d'étude spectroscopique, cela nous permet d'étudier de manière plus précise l'homogénéité des supernovæ.

Collaboration avec le SCP. Une collaboration entre EROS et le *Supernova Cosmology Project* (SCP) aura lieu au début de 1999, dans le but d'assurer un suivi optimal des supernovæ découvertes.

3.3. Anisotropies du fond diffus cosmologique de rayonnement micro-onde : le programme Planck de l'ESA et le projet ARCHEOPS de « ballon pour la cosmologie »

Depuis la publication des résultats du satellite COBE, la détection des fluctuations de température du fond cosmologique de rayonnement micro-onde (FCRM) à des résolutions toujours meilleures est devenu un enjeu majeur de la cosmologie observationnelle. Des observations au sol et en ballon permettent maintenant d'explorer la zone où sont attendus les premiers « pics Doppler », dont la position et l'intensité sont des informations capitales pour comprendre l'origine des fluctuations primordiales et mesurer les paramètres cosmologiques H_0 , Ω_0 , Ω_b et Ω_Λ .

Cependant, rien ne peut remplacer les observations par satellites, qui permettent d'observer pendant des périodes beaucoup plus longues que les ballons, et évitent les problèmes dus à l'atmosphère : émissions parasites fluctuantes et bandes de transparence réduites qui restreignent le choix des fréquences d'observation.

Deux projets de satellites sont maintenant en chantier, un projet américain, MAP, destiné à un départ prochain (2001) mais qui n'atteindra qu'une résolution angulaire moyenne (10°), et un projet européen piloté par l'ESA, PLANCK, qui partira en 2005 ou 2006, mais qui devrait atteindre une résolution angulaire de $5'$ dans les canaux les plus importants, avec une sensibilité de l'ordre du μK . Ces performances devraient permettre de déterminer les paramètres cosmologiques H_0 , Ω_0 , Ω_b avec une précision de quelques %, et de détecter un Ω_Λ plus grand que 0,02. L'équipe de cosmologie observationnelle du laboratoire a décidé de participer à l'instrument haute fréquence (HFI) du projet PLANCK sous deux de ses aspects : d'une part, en collaboration avec l'IAS, la calibration, au sol et en vol, d'autre part le traitement des données et les simulations, dans le cadre d'un futur centre français de traitement des données de PLANCK, POSDAC (Paris-Orsay-Saclay Data Analysis Center).

Un prototype du détecteur de PLANCK devrait effectuer 2 vols de 24 heures à 40 km d'altitude en ballon, déflorant ainsi les résultats de MAP. C'est le projet ARCHEOPS.

Simulation et traitement de données

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

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

Cependant, la polarisation attendue est très faible, de 1 à 10 % des fluctuations, et il est donc important d'optimiser cette mesure. C'est sur ce point qu'a porté un premier travail de l'équipe : mise en évidence de configurations des polarimètres qui permettent d'obtenir du même coup des erreurs minimales, les mieux réparties et avec les trois paramètres de Stokes les moins corrélés, et ceci indépendamment de l'orientation des polarimètres. Ces configurations, consistant en un espacement régulier des polarimètres sur un angle de 180° , ont été adoptées dans la réponse à l'appel d'offres de l'ESA.

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

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

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

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

4. Physique des cosmiques

4.1. Gammas cosmiques : expériences en cours

La physique des particules cosmiques est implantée dans le laboratoire depuis 1987. Toutes les expériences de détection de rayons gamma cosmiques passées et présentes se déroulent sur le site de l'ancienne centrale solaire Thémis à Targassonne (P.O.), et les appareillages détectent la lumière Čerenkov des gerbes atmosphériques engendrées par les particules cosmiques lors de leur traversée de l'atmosphère terrestre.

THEMISTOCLE : Cette expérience pionnière de l'IN2P3 en fonctionnement sur le site depuis 1989, n'est plus en exploitation permanente. Des observations simultanées avec le détecteur CAT ont été réalisées cette année sur des sources brillantes en gamma mais très variables. Ces observations ont permis une calibration en énergie croisée des détecteurs THEMISTOCLE et CAT en profitant de l'effort fourni par l'expérience THEMISTOCLE pour la mesure des énergies.

CAT : Cet imageur, en exploitation depuis l'automne 1996, se compose d'un miroir parabolique de 15 m² équipé en son foyer d'une caméra de 600 photomultiplicateurs. La finesse de grain de la caméra, malgré la taille modeste du miroir, permet un rejet efficace des hadrons cosmiques et permet d'abaisser le seuil en énergie de détection des gammas cosmiques à environ 250 GeV.

En 1997 les observations ont été essentiellement dirigées vers des sources bien connues comme la nébuleuse du Crabe et deux noyaux actifs de galaxie (AGN), Mrk421 et Mrk501. Ces deux dernières sources sont de puissants émetteurs gamma très variables. Des observations ponctuelles de ces AGN ont eu lieu simultanément avec CAT et des appareillages sensibles dans d'autres longueurs d'onde (Satellite X, Satellite gamma, radiotélescope).

L'étude de l'ensemble du spectre électromagnétique émis par ces objets et de leur variabilité devrait permettre de tester les modèles théoriques proposés pour expliquer ces phénomènes parmi les plus puissants de l'univers. Actuellement les sources observées sont beaucoup plus diversifiées, avec pour objectif la recherche de nouveaux émetteurs gamma. La collaboration envisage de participer à l'observation de « sursauts gamma ». Pour cela il est nécessaire d'accroître la vitesse de pointé de CAT, et le Laboratoire est fortement impliqué dans cette modification.

CELESTE : Ce projet ambitieux vise à réutiliser une grande partie des héliostats de la centrale solaire comme détecteurs de rayons cosmiques. Actuellement 20 héliostats sont opérationnels et 20 supplémentaires le seront d'ici fin 1998. La chaudière de l'ancienne centrale (en haut d'une tour de 100 m) a été remplacée par des miroirs secondaires équipés de caméras de photomultiplicateurs en leurs foyers. Les premières données (avec un détecteur incomplet) datent de février 1998.

La nébuleuse du Crabe, « chandelle standard » en astronomie gamma, devrait être observée au cours de l'hiver prochain avec un appareillage complet validant ainsi le détecteur. Le seuil en énergie du détecteur devrait être alors d'une vingtaine de GeV permettant un recouvrement avec les observations par satellites et donnant accès à un nombre important de sources, en particulier lointaines. La phase suivante pourrait englober une centaine d'héliostats de la centrale. A cette échelle il faudra reconsidérer totalement le système de pilotage des héliostats qui a vingt ans d'âge. Le Laboratoire étudie un nouveau système basé sur des microcontrôleurs et des liaisons radio.

La connaissance de l'atmosphère est importante pour une interprétation correcte des données. Un prototype simple de LIDAR (Light Detection And Ranging) a été mis au point au Laboratoire. Un laser envoie des impulsions dans l'atmosphère et l'analyse de la lumière rétrodiffusée par cette dernière donne des indications sur sa transparence et les nuages de haute altitude. Les premiers résultats obtenus au cours de l'hiver sont satisfaisants et nous sommes impliqués dans l'étude d'un LIDAR plus performant qui puisse donner des informations plus localisées (en particulier dans les directions des sources étudiées) et plus détaillées en utilisant les 3 longueurs d'onde fournies par le laser.

L'ensemble de ces expériences, que le Laboratoire soutient activement, constitue 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.

Enfin il faut penser au futur et nous participons aux discussions préliminaires concernant le projet HESS qui serait constitué de plusieurs imageurs du même type que CAT, ce qui permettrait d'abaisser le seuil vers 100 GeV et/ou de suivre simultanément plusieurs sources. Son installation dans l'hémisphère austral lui donnerait accès aux sources du centre galactique.

4.2. 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 inexpliquée, 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 $5\,000\text{ km}^2$ 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 en novembre 1995 à un rapport technique, auquel notre laboratoire a contribué, décrivant en détail ce réseau baptisé « Observatoire Pierre Auger ».

Nous avons participé à l'organisation de la réunion de collaboration qui s'est tenue alors à Paris, dans les locaux de l'UNESCO. Lors de ce colloque, qui réunissait 60 physiciens appartenant à 15 nationalités, les principales conclusions du rapport technique ont été présentées et discutées. Il a été décidé de construire l'observatoire sur 2 sites, un dans chaque hémisphère. L'Argentine a été choisie pour abriter le site austral, et l'Utah pour le site boréal.

Chacun de ces 2 sites sera équipé d'un appareillage hybride (réseau de $3\,000\text{ km}^2$ associé à 3 détecteurs du rayonnement de fluorescence), permettant ainsi une mesure indépendante des paramètres de la gerbe.

Les années '96, '97 et '98 ont été consacrées à un programme de recherches et développement auquel notre Laboratoire prend une part importante, au renforcement de la collaboration et à la recherche du financement de ce projet. La principale responsabilité technique du Laboratoire est la réalisation des contrôleurs des stations locales du réseau et du logiciel d'acquisition des données. Un premier prototype du contrôleur a été construit et testé et une première version de l'acquisition y a été installée. La deuxième version de ce matériel et de ce logiciel devrait être prête fin juillet pour équiper le premier sous-système qui sera installé à l'automne en Argentine.

Ont participé cette année à l'activité sur les cosmiques au Laboratoire : *C. Boutonnet, J.-M. Brunet, J.-N. Capdevielle, B. Courty, J. Cronin, M.-G. Espigat, P. Espigat, P. Frenkiel, C. Ghesquière, Huynh Dong Phong, L. Guglielmi, C. Le Gall, F. Lelong, D. Marchand, F. Münz, M. Punch, J.-P. Rény, G. Tristram, A. Volte, J. Waisbard, et B. Yoffo.*

5. Recherche d'oscillations des neutrinos à CHOOZ

L'expérience de CHOOZ a détecté et étudié les neutrinos de réacteur à 1 km de leur point de départ. Le très bas niveau de bruit de fond et la qualité du résultat en ont fait une des expériences les plus importantes de l'année écoulée en physique des particules.

Cette importance a été renforcée par l'expérience récente de Superkamioka, au Japon, qui vient d'annoncer la découverte de la masse du neutrino, en étudiant les neutrinos créés dans la haute atmosphère par le rayonnement cosmique.

Dans les deux cas, il s'agit en effet de rechercher des oscillations de neutrinos, c'est à dire des transitions d'une espèce à l'autre. L'expérience de Superkamioka affirme avoir vu une disparition des neutrinos muoniques, et CHOOZ permet d'exclure que ceux-ci soient devenus neutrinos électroniques. Il ne reste donc plus que la possibilité d'une transition vers les neutrinos tauiques, et cette conclusion est retenue par tous les projets d'expériences au CERN, et au laboratoire Fermi (USA)

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 ($2 \times 4200 \text{ MW}_{\text{th}}$), ce qui a permis de mesurer le bruit de fond, qui s'est montré conforme aux prévisions, et plutôt inférieur à celles-ci.

Une deuxième prise de données a eu lieu avec un nouveau scintillateur, à partir du printemps 1997, jusqu'à l'arrêt des réacteurs de CHOOZ en 1998, pour des problèmes de circuit primaire. Cette prise de données a permis de détecter les quelques milliers de neutrinos nécessaires pour remplir les objectifs de l'expérience.

5.1. L'expérience

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

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

5.2. La contribution du Laboratoire

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

La construction du laboratoire d'étude des neutrinos dans le tunnel a été financée par EdF, et suivie par ses bureaux d'études. Le Laboratoire a pris en

charge la liaison avec ces bureaux d'études, et le suivi du chantier (*D. Marchand*). Cette construction s'est avérée plus longue, difficile et coûteuse que prévu, notamment pour des problèmes de dureté de la roche.

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

Le Laboratoire a développé un système pour échantillonner à 200 MHz les impulsions de photomultiplicateurs signant les interactions de neutrinos, en vue d'en mesurer à la fois l'amplitude, le temps et la forme. (*P. Courty †, G. 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 dans le cadre d'un CROP (Contrat de Recherches à Objectifs Partagés). (*F. Roger*).

Comme dans les expériences précédentes, la base de données (*J. Boucher*), l'acquisition (*D. Kryn*), la simulation (*H. de Kerret, B. Lefèvre*), et l'analyse des données (*M. Obolensky*) constituent un des axes importants de l'activité du groupe. Un étudiant (*D. Véron*) a soutenu en mars 1997 une thèse sur la reconstruction et la mesure du bruit de fond de l'expérience à l'aide des échantillonneurs à 200 MHz.

5.3. Vers des masses encore plus petites

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 mènera 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.

Une bonne synergie existe entre ce projet et l'expérience BOREXINO, actuellement en construction au Gran Sasso, et une éventuelle participation à cette expérience est en discussion.

Le groupe de physiciens menant cette expérience au Laboratoire est constitué de : *F. Bauer, 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.

6. HELLAZ : la mesure du spectre des neutrinos solaires

6.1. Principe de HELLAZ

Aucune des expériences mesurant des neutrinos solaires ne peut montrer de spectres en énergie neutrino en dessous de 6 MeV (SuperKamiokande au Japon). La comparaison avec le spectre théorique (John Bahcall ou Sylvaine Turck-Chièze) au niveau du spectre pp (en dessous de 480 keV) est fondamentale car le flux pp est connu à mieux que 1 % par la mesure de la luminosité du soleil et ceci est en désaccord avec les mesures intégrées des expériences GALLEX et SAGE. C'est pourquoi la forme du spectre est indispensable pour lever les ambiguïtés entre les diverses solutions d'oscillations.

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

Le détecteur sera une chambre à projection temporelle (TPC) de 2 000 m³, remplie d'hélium à 5 bars et 77 K permettant l'acquisition d'une dizaine d'événements par jour.

La condition pour obtenir cette résolution est de reconnaître l'angle de diffusion de l'électron de recul avec une précision meilleure que 5°, ce qui est possible si l'on mesure chaque électron d'ionisation de la trace.

6.2. Statut de R & D : HELLAZ-1

La détection des électrons individuels d'un nuage requiert des chambres en bout de dérive ayant un grand gain (10^5 - 10^7) et une rapidité meilleure que 10 ns afin d'éviter les effets d'empilement. Ces effets seront étudiés avec précision en injectant dans la chambre deux électrons se suivant avec un temps variable entre zéro et 50 ns.

Pour cela, nous avons développé et mis au point au Laboratoire un dispositif constitué d'un laser à azote (337 nm) suivi d'un colorant (500 nm) et d'un doubleur (250 nm). La durée de l'impulsion est 300 ps à mi-hauteur. La lumière UV est guidée dans deux fibres en silice de longueurs différentes, selon la différence en temps choisie. Après le parcours le long des fibres, les deux impulsions lumineuses tombent sur une photocathode de nickel/chrome servant de fenêtre à un volume de dérive de 1 cm. La chambre rapide à tester est au bout de cette dérive. Par collimation, on peut diminuer le nombre des photons dans

les fibres et donc le nombre de photoélectrons créés, jusqu'à n'en avoir qu'un seul par fibre.

Avec cette appareil, nous avons testé deux chambres ultra-rapides, la « Micro Gap Wire Chamber » de M. Dracos (IReS Strasbourg) et la « Micromegas » de Y. Giomataris (DAPNIA-CEA).

Les résultats pour la Micro Gap Wire Chamber sont démonstratifs. Les deux électrons se suivent à 40 ns. On pourra probablement atteindre 20 ns avec une électronique plus rapide que les MQS104 dont nous disposons actuellement.

Un progrès considérable a été réalisé par l'utilisation de chambres Micromegas.

Le champ électrique, contrairement au cas d'une chambre à fils, est constant. Le gain peut donc être très élevé et nous avons atteint 10^7 . L'espace entre anode et cathode est 100 μm . Le signal développé par le mouvement des électrons de l'avalanche fait quelques ns tandis que celui créé par le mouvement des ions fait une centaine de ns. Contrairement au cas d'une chambre à fils où le signal des électrons est de l'ordre de quelques ps, et donc invisible, la chambre Micromegas a un signal d'électrons parfaitement utilisable et, à l'aide de préamplificateurs rapides ORTEC, nous avons battu un record du monde en créant un signal de 7 ns à la base.

Ce résultat est tout à fait fondamental pour HELLAZ car il permet d'augmenter considérablement l'efficacité de détection des électrons des traces.

L'étape suivante est la création dans HELLAZ-1 de vraies traces. Pour contrôler l'énergie et l'angle de ces traces, nous utilisons une méthode de diffusion Compton d'un des photons d'annihilation d'une source de ^{22}Na , l'autre servant de trigger.

Pour cela nous avons :

- réparé l'enceinte HELLAZ-1
- conçu, réalisé et testé des passages de signaux résistant au froid et à la pression
- dessiné une chambre Micromegas x,y (utilisation d'un circuit imprimé à trois couches pour l'anode)
- mis au point des préamplis à base commune
- recherché des TDC ayant 1 ns d'horloge et une profondeur de 2 ms.

Nous sommes donc prêts à créer des traces d'électrons d'environ 200 keV et à tester nos algorithmes de mesure de l'angle et de l'énergie. Si nous arrivons à une résolution en énergie gamma meilleure que 10 %, nous aurons démontré la faisabilité sur le plan des principes.

Parallèlement, nous avons engagé un important travail de simulation. Le programme GEANT du CERN engendre aux alentours de 200 keV des traces d'électrons, qui ionisent l'hélium et produisent des nuages d'électrons. Ceux-ci, après une dérive de longueur variable, sont analysés au moyen de différents algorithmes permettant de reconstituer énergie et direction de l'électron. Dans une deuxième

phase, on simule aussi les chambres de lecture, ce qui permet d'évaluer les diverses configurations et leur effet sur la précision des mesures. Enfin, une importante part de la simulation consiste à introduire du bruit de fond radioactif avec les données et à extraire ces dernières au moyen de l'algorithme dit du « soleil tournant ».

6.3. Étude des matériaux de basse activité

Le germanium à bas bruit installé à Modane donne des résultats satisfaisants. Il permet d'obtenir à partir de petits échantillons de matière une sensibilité de 10^{-10} g/g d'U-Th. Cette sensibilité pourra être améliorée d'un facteur 100 pour certains matériaux non métalliques par activation neutronique. Nos contacts avec BOREXINO nous permettent d'envisager cette opération auprès de leur réacteur de Munich.

Nous avons au Laboratoire entrepris d'explorer une autre voie. La méthode repose sur une particularité de la désintégration des chaînes $^{238,235}\text{U}$ et ^{232}Th . Un isotope de ces trois chaînes est un gaz monoatomique, le radon, avec ses trois isotopes $^{222,220,219}\text{Rn}$. Cependant, seul le ^{222}Rn peut être capturé et mesuré, car sa demi-vie, (3,8 jours) est assez longue. Les deux autres ont des demi-vies de quelques secondes. Ces caractéristiques permettent d'envisager la construction d'un banc d'émanation et de concentration du ^{222}Rn . Après émanation et concentration sur un piège à charbon actif refroidi, le radon est relargué dans un petit détecteur puis mesuré pendant plusieurs semaines. Le nombre d'atomes de radon comptés permet de remonter à la concentration originelle.

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

Afin de réaliser dans des conditions de propreté optimum le banc d'émanation/concentration, nous avons entrepris de reconditionner la salle « propre », installant deux flux laminaires de classe 100 ainsi qu'un banc de lavage. Les travaux de montage de ces flux sont en cours.

Les physiciens participant à HELLAZ sont : *A. de Bellefon, J. Dolbeau, N. Gagliardi, P. Gorodetzky, T. Patzak, J. Séguinot, R. Sené et C. Tao.*

7. Expérience DELPHI au LEP

Sur le collisionneur LEP au CERN, le Laboratoire participe à la collaboration DELPHI constituée de 550 physiciens provenant de 56 laboratoires européens, russes et américains. Depuis 1996, la montée en énergie se poursuit et après l'étude de la production de paires de W au seuil à une énergie de 161 GeV, plus

de 10 evts/pb de données ont été pris à 172 GeV et à 184 GeV. Depuis juin 1998, la prise de données se fait à une énergie de 189 GeV.

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

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

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

L'installation des bi-processeurs d'acquisition qui remplacent les processeurs contrôlant le flux de données de DELPHI a commencé. L'installation sur le site se poursuivra durant l'arrêt de fin d'année (*L. Guglielmi*).

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

8. Activités en Informatique

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

8.1. Évolution des infrastructures

8.1.1. Le réseau local

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

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

8.1.2. Les matériels et leurs systèmes d'exploitation

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

- Deux ALPHA/OSF1, une HP-9000/780/UNIX, un PC/PII-300/LINUX et une HP-9000/715/UNIX puissants et modernes, assurent les services généraux (service aux terminaux X, infrastructure logicielle, bibliothèques générales, impressions diverses, sauvegarde des données et des programmes) ainsi que la mise au point des programmes d'analyse. Le dernier servira de support aux applications vidéo.
- Deux ALPHA/OSF1 dédiées à la CAO mécanique (logiciel EUCLID).
- 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.
- 3 stations Apollo maintenant utilisées en terminaux X.
- 4 serveurs de terminaux permettant l'accès simultané, par TCP/IP, à plusieurs machines locales ou distantes.
- 6 imprimantes laser noir et blanc et 1 imprimante couleur à jet d'encre solide directement connectées au réseau Ethernet.
- des serveurs d'impression spécialisés permettant l'accès aux imprimantes non directement connectées.
- plusieurs machines sous système Os9 pour le développement de logiciels d'acquisition de données.
- les calculateurs parallèles du groupe de calcul parallèle et leurs annexes.
- une quarantaine de terminaux X et une quinzaine de PC sous Linux.

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

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

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

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

Le Laboratoire a adopté pour toutes ses unités (DEC/ALPHA, Apollo, SUN, HP, PC et T-Node), 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).

La reconversion vers UNIX des logiciels utilisés sous VMS, et la formation rapide des utilisateurs est maintenant chose faite.

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 l'année dernière ou la chaîne de développement Os9 pour Microprocesseurs Motorola utilisée depuis déjà plusieurs années.

Www (World Wide Web) est un ensemble de logiciels qui permet, au travers du réseau Internet, d'accéder à une base documentaire répartie dans un grand nombre d'instituts de par le monde. Nous avons installé, depuis déjà quelques années, cet ensemble de logiciels pour, à la fois, accéder et contribuer à cette base documentaire.

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

8.2. Assistance aux utilisateurs

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

Les liens entre les informaticiens ont été renforcés avec la création d'un véritable service informatique en début de l'année 1997. Cette nouvelle organisation facilite le maintien des outils généraux et permet de consacrer davantage d'efforts au développement d'applications originales d'usage commun.

Un effort important a été consacré 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).

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).

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, ...).

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

9. Activités en électronique

Restructuré en service dans le cadre de la nouvelle UMR, le groupe d'électronique contribue de façon très étroite aux diverses expériences du Laboratoire selon les besoins. Des petites équipes, ou des individualités, apportent leurs contributions à la plupart des activités, mais le plus souvent, il est impossible de créer des binômes souhaitables pour une activité.

Globalement, le nombre d'électroniciens continue de diminuer. Dans le cadre de la restructuration du Laboratoire, la perte d'un IR, de deux T, et le départ à la retraite d'un IE, ne nous permettent pas de faire face à toutes les demandes. Le recrutement, tant demandé, de jeunes formés aux nouvelles techniques et technologies, apportant le souffle des enseignements récents des écoles d'Ingénieurs, n'a pas eu lieu l'année passée. Et le manque se fait plus que jamais sentir.

9.1. Réalisations récentes ou en cours

9.1.1. Neutrinos à CHOOZ

Mise en service sur site des cartes d'acquisition précédemment développées au Laboratoire, et démarrage d'une nouvelle version VME de la carte « Flash ADC ultra-rapide », en partenariat avec la société CAEN en Italie (valorisation).

Installation de la régulation et du contrôle des fluides.

Installations électriques diverses sur site.

9.1.2. Astro-particules

Participation aux installations sur site des systèmes électromécaniques de commande du télescope T55.

Mise en place et traitement de capteurs de température sur les installations.

Étude des modifications des commandes de puissance des moteurs nécessaires sur CAT/CELESTE.

Étude du système numérique de contrôle/commande et d'asservissement de ces moteurs.

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

9.1.3. HELLAZ

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

Installation de 200 voies de préamplificateurs de lecture rapides.

R & D sur l'électronique de lecture de chambres type MGWC (en collaboration avec l'IReS de Strasbourg)

9.1.4. PLANCK

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

9.1.5 AUGER

Etude 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). Conception d'une seconde version du prototype. Liaison avec la carte de « timing » de Besançon.

Démarrage de la conception d'un ASIC en collaboration avec l'Observatoire de Besançon, et le LPNHE, pour le marquage en temps des événements de l'expérience.

9.2. Activités d'intérêt général

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

— 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 des 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 sur site des expériences CHOOZ et T55 au Pic du Midi

Un TP et un T assurent la Conception Assistée par Ordinateur (ALLEGRO), pour toutes les cartes nécessitées par les diverses activités citées.

Les électroniciens du Laboratoire sont : *M. Abbès, C. Boutonnet, D. Broszkiewicz, B. Courty, G. Desplancques, J.-J. Jaeger, D. Monnot, F. Roger (CDD), S. Selmane, P. Tardy, J. Vergne, J. Waisbard*, assistés de *J.-P. Villain* pour la CAO : soit 4 personnes de moins que l'année dernière...

10. Mécanique

10.1. Gammas cosmiques (CAT / CELESTE)

Après avoir fait transporter une des têtes d'héliostat du site de Thémis au Laboratoire, nous avons entrepris deux études :

1. L'étude, la réalisation et les tests d'une simulation d'inertie et de frottement des grands miroirs plans. — Ce simulateur, placé sur une sortie intermédiaire du réducteur, permet au service d'électronique de tester les nouvelles alimentations électroniques des têtes d'héliostat de l'expérience CELESTE. Les tests électroniques sont en cours.

2. Ce simulateur peut permettre aussi de simuler le télescope CAT. Nous avons entrepris d'étudier le projet d'obtention d'une vitesse quatre fois supérieure à celle existant sur les deux axes de la tête d'héliostat du télescope CAT. Les essais de plusieurs types de moteur ont eu lieu.

3. Nous avons également étudié et réalisé des adaptations pour le montage de codeurs absolus sur chacun des deux axes de la tête d'héliostat.

F. Lelong, D. Marchand

10.2. Gammas cosmiques (LIDAR)

La réalisation d'un LIDAR, en vue de permettre une meilleure calibration de l'ensemble des détecteurs du site de Thémis, est programmée en deux étapes :

1. Les études, la réalisation, l'installation et les tests du prototype du LIDAR. — C'est une adaptation d'un premier appareillage ayant servi comme prototype pour l'expérience THEMISTOCLE. Nous avons ajouté un laser équipé d'une enceinte isothermique.

L'installation s'est faite sous un abri proche d'un bâtiment du site, en début d'année. Cette étape est aujourd'hui réalisée et les tests sont en cours.

2. La conception et les études de l'instrument définitif. — Cet instrument sera composé d'un télescope et d'une optique à trois voies de détection. Il sera installé sous une coupole éloignée des bâtiments et hors du champ des héliostats. Le télescope possèdera deux mouvements simultanés pour obtenir le pointage dans la direction d'observation du champ d'héliostats et le suivi en mouvement horaire.

Cette réalisation comporte des études optiques, de structure, de mouvements et d'infrastructure sur le site. Les études sont en cours.

D. Marchand, B. Yoffo, J.P. Rény

10.3. Cosmologie observationnelle (AGAPE)

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

1. L'ajout d'un correcteur de champ, d'une roue à filtres et d'une caméra CCD. L'installation s'est achevée à la fin de l'année passée, les réglages optiques nous ont obligé de modifier en grande partie le boîtier de la caméra. La mise au point optique s'est achevée au début de cette année.

2. L'automatisation des mouvements a conduit à étudier, réaliser, installer et tester des mécanismes d'entraînement.

— En déclinaison, un double système d'entraînement, à moteurs pas à pas : l'un est prévu pour assurer une grande vitesse de pointage, l'autre, par intégration sur vis-écrou à friction, est prévu pour assurer la vitesse de suivi.

— De même l'automatisation du mouvement horaire a conduit à installer un moteur pas à pas plus performant, pour obtenir avec le même moteur pas à pas les vitesses de pointage et de suivi.

3. La résolution du positionnement a obligé d'installer des codeurs absolus sur les deux axes.

4. L'automatisation d'un télescope est contraignante : elle oblige de prévoir des commandes pneumatiques pour les embrayages et les freins — de multiples capteurs de pression pneumatique, de position, d'orientation, de température — l'installation d'une station météorologique. Hormis les capteurs de température et la station météorologique, non encore installée, toute la gestion automatisée du télescope est en cours de tests.

5. Nous avons dû assurer sur ce site de nombreuses interventions d'infrastructure. Ces interventions à l'allure d'expéditions ont eu lieu, non à dos de mulet, comme dans les premiers temps de la création de l'Observatoire, mais à dos d'homme, à travers les coursives et dans les escaliers du Pic du Midi. A 2870 mètres d'altitude, ce sont des épreuves !

F. Lelong, D. Marchand, J.P. Rény

10.4. Cosmologie observationnelle (ARCHEOPS)

En vue du projet d'un banc de calibration pour le satellite PLANCK, nous projetons de participer au projet ARCHEOPS en vue de l'étude et des tests d'un prototype du futur détecteur embarqué sur le satellite. Le projet ARCHEOPS consiste

à embarquer un détecteur sur une nacelle suspendue à un ballon d'hélium. Sur ce projet ARCHEOPS, nous envisageons de participer au banc de calibration.

Dans l'immédiat, nous devons assurer l'étude, la réalisation et les tests d'un contre-cryostat, installé dans un premier temps au CRTBT de Grenoble, et par la suite sur les sites de lancement des ballons.

D. Marchand, B. Yoffo

10.5. Neutrinos

10.5.1. CHOOZ

Suivi et contrôle technique des installations du détecteur de neutrinos sur le site de CHOOZ. Cette opération scientifique est en cours d'achèvement. Le démantèlement est à prévoir dans le courant de l'année 1999.

P. Guillouet, P. Salin.

10.5.2. HELLAZ

A la lumière des enseignements apportés par les deux premiers prototypes HELLAZ-0 et HELLAZ-1, la conception des bases de réalisation d'un prototype plus ambitieux a commencé, avec la participation à l'établissement du cahier des charges.

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

Également, le dispositif de manutention et de positionnement des divers éléments a commencé à être étudié, s'agissant d'éléments comportant des éléments fragiles et de masse relativement élevée, susceptibles, comme tout prototype, de nombreux montages et démontages.

A. Diaczek, M. Pairat

10.6. Infrastructure

Le Laboratoire dispose de deux stations de CAO EUCLID. Cette année a été marquée par un changement profond de cette installation, dû au passage du système VMS au système UNIX, et à tout un ensemble de mises à niveau techniques qui n'avaient pas été entreprises sous VMS.

A. Diaczek

11. 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*) se fait un plaisir de citer :

Secrétariat administratif et scientifique :

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

Bibliothèque et Documentation :

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

Service intérieur :

H. Ahamada, B. Coppolani, J. Le Fur, S. Néchal, Y. Ounich, J.-A. Yoro.

Imprimerie et photo :

G. Arbousse-Bastide et *X. Le Tan* ont rejoint les services centraux du Collège de France au 1/1/98. *M. Soumana* est décédé le 10 novembre 1997.

Sécurité :

O. Sokolsky.

12. Ouverture du Laboratoire vers l'extérieur

12.1. Participation à des conférences

Atelier « Bas bruit radioactif » à Neuchâtel (19-22/6/97) : 4 membres du groupe HELLAZ.

16^e atelier international sur les interactions faibles des neutrinos à Capri (22-29/6/97) : *P. Gorodetzky, T. Patzak.*

INET'97 (sur les réseaux) à Kuala-Lumpur (22/6-1/7/97) : *P. Frenkiel.*

Réunion « Ropac » à Oxford (2-6/7/97) : *J. Kaplan* (communication sur AGAPE), *A. de Bellefon.*

Congrès général de la Société Française de Physique : 8 chercheurs du Laboratoire dont *P. Bareyre*, responsable du colloque « Nouvelles techniques de détection ».

25^e Conférence Internationale des rayons Cosmiques, Durban (Afrique du Sud), (26/7-7/8/97) : *J.-N. Capdevielle* (4 communications et aide aux rapporteurs), *M. Punch.*

16^e symposium international sur les interactions lepton-photon, Hambourg (26/7-1/8/97) : *A. de Bellefon, M. Sené.*

Conférence Internationale de Physique des Hautes Energies de 97, Jérusalem, 19-28/8/97 : 5 membres du Laboratoire dont *T. Patzak*, qui a présenté le projet HELLAZ, et *P. Bareyre*, responsable du colloque « Physique des astroparticules et cosmologie ».

TAUP 97 (Topics on Astroparticle and Underground Physics), 6-11/9/97 : 5 membres du laboratoire, dont *A. de Bellefon* qui a présenté le projet HELLAZ.

10^e conférence de l'IEEE sur le temps réel : *L. Guglielmi, S. Szafran*

Atelier sur l'Eloisatron à Erice (Sicile) (1-7/11/97) : *P. Gorodetzky, N. Gagliardi*.

Semaine du microlensing, Naples, 30/9-3/10/97 : *J. Kaplan*, 3 leçons.

Atelier sur l'analyse des données sur le fond cosmologique micro-ondes à Santa Barbara (Californie) 15-22/11/97 : 5 membres de la collaboration PLANCK.

École Vietnamienne des Rayons Cosmiques, Hanoï, 5-21/12/97 : *L. Guglielmi* comme intervenant.

4^e Atelier international sur les microlentilles, Paris, 15-17/1/98 : 8 participants du Laboratoire, dont *Y. Giraud-Héraud*, organisateur, *J. Kaplan*, membre du comité scientifique.

Réunion de travail sur le projet *COMENIUS*, Sheffield, 23-25/1/98 : *A. de Bellefon* représentait l'IN2P3.

Réflexion sur les nouveaux moyens de calcul, Annecy, 17-19/2/98 : *B. Yoffo*.

Journées de prospective en astronomie de l'INSU, Arcachon, 12-14/3/98 : *P. Gorodetzky*, invité.

33^{es} Rencontres de Moriond, Les Arcs. Session sur les paramètres fondamentaux de la cosmologie (17-24/1/98), 5 participants du Laboratoire.

Session sur la théorie électrofaible (14-21/3/98), 3 participants du Laboratoire, dont *D. Véron* (Cf. PCC 98-10/conf sur Chooz).

8^e conférence sur les chambres à fils. Vienne (Autriche), 22/2-1/3/98 : *P. Salin*.

Conférence EuroTeX, Saint-Malo, 28-31/3/98 : *A. Faye, P. Frenkiel*.

3^{es} Journées d'échanges entre fournisseurs et utilisateurs d'adhésifs. Biarritz, 31/3-3/4/98 : *A. Diaczek*.

Journée « Cosmologie primordiale » invitation par l'Université de Tours, 3/4/98 : *P. Gorodetzky, B. Revenu*.

Hillas symposium, Leeds, 6-12/4/98 : *M. Punch*.

12.2. Collaborations

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

THEMISTOCLE, CAT, CELESTE : 6 à l'étranger, 47 à THEMIS.

HELLAZ : 6 à l'étranger, 16 à Modane.

CHOOZ : 10 à l'étranger, 61 sur le site de CHOOZ.

AUGER : 7 à l'étranger, 3 en France.

PLANCK : 8 à l'étranger, 12 en France.

AGAPE : 3 à l'étranger, 40 à l'Observatoire du Pic du Midi.

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

Citons encore à ce propos

— Les activités de collaboration de *J.-N. Capdevielle* au sujet du programme CORSIKA de simulation des grandes gerbes, dont il est co-auteur : Łodz (2/12/97-10/1/98), Karlsruhe (9-14/2/98), Yerivan (14-25/4/98), Moscou (26-28/4/98)

— Les activités du groupe GDR-SUSY : à l'origine de 10 déplacements en France.

12.3 Enseignements

M. Abbès : « Enseignement sur les micro-processeurs DSP », Université de Paris VI (40 h).

P. Bareyre : a participé aux jurys de thèse de *F. Bauer* et d'Aurélien Barrau.

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

Préparation des ITA aux concours internes et externes du CNRS (30 h).

J.-N. Capdevielle : 5 thèses de doctorat (Universités de Bordeaux et Perpignan)
Cours de 2^e cycle en Physique Nucléaire et Physique des Particules et T.D. de Maîtrise à l'Université de Perpignan

dans le cadre de ces cours, encadrement à 50 % des travaux de 2 stagiaires prédoctoraux, en vue d'applications au calcul des grandes gerbes (Complexe THEMIS).

Collaboration avec *K. Sanosyan* en vue de la simulation des gerbes géantes d'AUGER.

A. Diaczek : École « La détection et les détecteurs », cours à l'usage des techniciens (Cargèse, octobre 1997, La Londe les Maures, mars 1998).

C. Le Gall : Moniteur en 1^e année de DEUG à l'université de Paris 7 (64 h).

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

C. Tao : Physique subatomique en maîtrise de physique de Paris 7 (septembre 1997-janvier 1998).

D. Véron : Cours et TP de physique à l'École Centrale d'Électronique de Paris TD et TP à l'École supérieure d'Ingénieurs en Électronique et Électrotechnique de Marne la Vallée.

12.4. Fonctions d'intérêt scientifique général

A. de Bellefon : a participé à l'organisation des journées sur la physique du neutrino en France (avril 1998)
est membre du Comité d'organisation de TAUP 99 qui aura lieu au Collège de France en septembre 1999.

J.-N. Capdevielle : participe à l'organisation du 10^e symposium International des Interactions Nucléaires Cosmiques (Gran Sasso, juillet 1998)
du 16^e symposium Européen des Rayons Cosmiques (Madrid, juillet 1998).

J. Dolbeau : élu à la commission de spécialistes pour les disciplines scientifiques du Collège de France (5/1992)
élu au Comité National de la Recherche Scientifique (Section 03) et au Conseil de Direction de l'IN2P3 (6/1995).

P. Frenkiel : Membre du CNU, section 29.

Y. Giraud-Héraud : membre de la Commission des spécialistes de Paris 7 de la 29^e section du CNU
membre du Conseil scientifique du Programme National de Cosmologie
conseiller scientifique pour les Astroparticules auprès du Chargé de Communication de l'IN2P3 (G. Edelheit).

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

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

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

R. Sené : Membre du Comité technique de l'Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire (IPSN).
Membre du Conseil Supérieur de Sécurité et d'Information Nucléaire.

C. Tao : membre du comité des Sages du SPP au DAPNIA, CEA-Saclay
referee des projets de conférences européennes.

12.5. L'effort de formation au Laboratoire

12.5.1. Les efforts généraux de formation

L'objectif du Laboratoire étant de fournir de la bonne physique, appuyée sur des créneaux techniques porteurs, sans pour autant avoir recours à des recrute-

ments dépassant le strict nécessaire, il lui est plus nécessaire que jamais de recourir à la formation professionnelle et à la reconversion de ses agents.

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

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

12.5.2. Reconversions et formations qualifiantes

Il s'agit de cinq formations assez lourdes qui déboucheront sur un diplôme et/ou un changement de poste. A l'ENSEA, École Nationale Supérieure d'Ingénieur en Formation continue, un jeune électronicien a poursuivi avec succès le processus de 3 ans (près de 600 h de cours par an) et a obtenu son diplôme en juin. La prise en charge des frais de formation par le CNRS a été de l'ordre de 90 kF.

Deux autres formations portent sur l'Administration des Réseaux et des Systèmes et deux enfin sur des remises à niveau : français et mathématiques d'une part, mathématiques et électronique d'autre part.

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

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

Électronique des détecteurs, La Londe Les Maures, juin 1997 : *F. Roger*.

École prédoctorale des Houches, 7-19/9/97 : *J.-C. Hamilton, B. Revenu*.

29^e école d'été de Physique des Particules, Villeurbanne, 15-19/9/97 : 4 membres du Laboratoire dont *C. Le Gall*, qui a présenté une communication.

6^{es} journées Jeunes chercheurs, Bénodet, 14-18/12/97 : 4 membres du Laboratoire dont *C. Le Gall*, qui a présenté une communication sur AUGER.

École d'informatique, Lyon, décembre 1997 : *S. Szafran*.

Cours de C⁺⁺, Paris, 16-20/3/98 : 7 élèves, chercheurs et ingénieurs, du Laboratoire.

12.5.4. Formations individuelles

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

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

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

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

Amenés à faire à leur tour la formation des utilisateurs, les informaticiens ont besoin tant des formations de fond par des professionnels bien expérimentés, que de la participation à des séminaires ou colloques, tels que *Computing in HEP*.

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

ESIEE, Paris, juin 1997, Journée d'information sur les capacités commutées et leurs applications aux microsystemes : *F. Roger*.

CIMIRLY-GEGELY, INSA de Lyon, octobre 1997 : conception, simulation et layout d'un filtre à capacités commutées intégrable dans un ASIC, 1 mois : *F. Roger*.

Introduction au langage comportemental VHDL (Cadence).

Modélisation et simulation des circuits MOS (EPFL-eomport).

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

Bibliothèque — Documentation : Avec l'extension de l'utilisation de Www et l'adoption par les bibliothèques d'une gestion informatisée, une mutation profonde se poursuit dans ces domaines. L'IN2P3 continue à organiser des écoles thématiques spécifiques et des séminaires pour « Créer et Gérer un serveur Www », 6 personnes ont pu y participer.

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

Divers : Le Laboratoire encourage également des stages sans finalité professionnelle directe comme ceux de préparation aux concours du CNRS, ou ceux destinés à une formation d'ouverture comme : « La radioprotection », « L'expression et la communication » et même « La restauration d'ouvrages anciens » qui pourrait entraîner une reconversion totale ou partielle de certains agents.

Il est intéressant de souligner que presque tous les services sont concernés et que, en 1997/98, 35 agents dont 7 chercheurs ont suivi à l'extérieur 150 jours de stage ou école, pour un total de plus de 1 100 heures, nombres à peu près constants malgré une diminution sensible de l'effectif global.

12.6. Activités diverses

12.6.1. La physique en marche

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

A. de Bellefon participe à ce groupe de travail dénommé NEPAL, pour lequel *J. Dolbeau* a donné une conférence en Terminale.

Il participe également au « Bar des Sciences », et à un groupe de travail européen pour la réalisation d'un CD-ROM sur la physique des particules et les problèmes nucléaires en astrophysique (ESPACE).

12.6.2. Autres activités

Sans attendre la formalisation de programmes à grande échelle, certains chercheurs contribuent à la diffusion d'une réflexion sur la science.

12.7. Accueil de chercheurs

12.7.1. Stagiaires

<i>S. Réveillé :</i>	AGAPE,	1/4-30/9/97
<i>J. Baby :</i>	PLANCK,	14/4-20/6/97
<i>J. Baby :</i>	PLANCK,	14/4-20/6/97
<i>V. Bourdaraud :</i>	CHOOZ,	14/4-20/6/97
<i>F. Pierron :</i>	CHOOZ,	14/4-20/6/97
<i>C. Baert :</i>	CHOOZ,	15/4-22/6/97
<i>K. Errahmane :</i>	HELLAZ,	12/5-15/8/97
<i>K. Medjoubi :</i>	HELLAZ,	30/3-31/7/98
<i>D. Altmann :</i>	CHOOZ,	14/4-19/6/98
<i>N. Pheng :</i>	CHOOZ,	14/4-19/6/98
<i>J.-P. Champaux :</i>	AGAPE,	1/5-10/7/98
<i>A. Amblard :</i>	AGAPE,	1/5-30/6/98

12.7.2. Thésards

<i>N. Gagliardi</i> :	HELLAZ.
<i>J.-C. Hamilton</i> :	Supernovae Ia.
<i>Y. Le Du</i> :	AGAPE.
<i>C. Le Gall</i> :	AUGER.
<i>F. Wolff-Bacha</i> :	Calcul Parallèle. Thèse soutenue le 9/7/97.

12.7.3. Post-Doctorants

<i>T. Patzak</i> :	HELLAZ, depuis le 1/7/96.
<i>D. Véron</i> :	CHOOZ, depuis le 1/10/97
<i>A. Kim</i> :	Supernovæ — AGAPE — PLANCK, depuis le 1/11/97
<i>F. Bauer</i> :	HELLAZ, depuis le 1/12/97

12.7.4. Savants visiteurs

<i>I. Matchouline</i> :	CHOOZ, 12/6-11/8/97
<i>P. Gondolo</i> :	AGAPE, 15-26/6/97
<i>K. Sanosyan</i> :	AUGER, 8-17/7/97 et 11/5-30/6/98
<i>V. Vyrodov</i> :	CHOOZ, 1-8/8/97, 17/3-30/4 et 14-21/5/98
<i>S. Khaloutsev</i> :	CHOOZ, 26/8-25/9/97
<i>C. Dai</i> :	HELLAZ, 6-19/10/97
<i>S. Sukhotine</i> :	CHOOZ, 16/9-16/10/97 et 30/3-5/4
<i>A. Sabelnikov</i> :	CHOOZ, 23/9-22/10/97
<i>A. Etenko</i> :	CHOOZ, 15/10-30/11/97
<i>J. Szabelski</i> :	CAT, 21/11-1/12/97
<i>B. Szabelska</i> :	CAT, 21/11-1/12/97
<i>A. Martemyanov</i> :	CHOOZ, 16/12/97-30/1/98
<i>Y. Kozlov</i> :	CHOOZ, 9/2-12/3/98
<i>J. Schneps</i> :	HELLAZ, 19-27/4/98
<i>V. P. Martemyanov</i> :	CHOOZ, 14-20/5/98
<i>S. Capozziello</i> :	AGAPE, 20-31/5/98
<i>G. Iovane</i> :	AGAPE, 20-31/5/98
<i>L. Greenacker</i> :	AGAPE, 21-31/5/98
<i>A. Marino</i> :	AGAPE, 22-31/5/98
<i>J. Bahcall</i> :	HELLAZ, 27-29/5/98

13. Séminaires du Laboratoire

Jean Dolbeau, Thomas Patzak, et Gérard Tristram (PCC — Collège de France)

Compte-rendu des Conférences de l'été (HEP 97 Jérusalem, WIN 97 Capri). (18/9/97)

Michael Punch (PCC — Collège de France)

Compte-rendu des Conférences de l'été (suite). « ICRC Durban 97 » (25/9/97)

Pierre Billoir (LPNHE — Paris VI et VII)

Le projet d'Observatoire Pierre Auger (rayons cosmiques d'ultra-haute énergie) vue d'ensemble et intérêt particulier des gerbes horizontales. (2/10/97)

Jean-Noël Capdevielle (PCC — Collège de France)

Interactions de haute énergie et Excès négatifs des muons dans les rayons cosmiques. (9/10/97)

M.-T. Jaekel (LPTHE — ENS)

Observables de localisation dans l'espace-temps. (16/10/97)

Y. Sirois (École Polytechnique — Palaiseau)

Événements à très grand q^2 dans les collisions $e p$ à Héra. (23/10/97)

M. Besançon (CEA/DAPNIA/SPP — Saclay)

A propos de Supersymétrie. (6/11/97)

M. Boer (CESR — CNRS)

Sursauts gamma cosmiques, où en est-on vraiment ? (13/11/97)

S. Malvezzi (INFN)

Status of the Borexino experiment. (20/11/97)

M.-H. Schune (LAL — Orsay)

Physique du méson B et matrice de Cabibbo-Kobayashi-Maskawa. (27/11/97)

Boris Popov (LPNHE — Paris VI et VII)

Preliminary Results from the NOMAD Experiment at CERN. (4/12/97)

Georges Charpak (CERN)

Les détecteurs peuvent mener à tout à condition de s'en sortir. (11/12/97)

Laurent Duflot (LAL — Orsay)

Limite sur la masse du neutralino le plus léger dans ALEPH. (8/1/98)

Christian Glattli (CEA — Saclay)

Détection de quasiparticules de charge fractionnaire $e/3$. (15/1/98)

Stéphane Fichet (LPNHE — Paris VI et VII)

Recherche des Bosons de Higgs dans le cadre du Modèle standard et du MSSM dans l'expérience DELPHI. (22/1/98)

Alain Bouquet (PCC — Collège de France)

Recherche de Supernovae à distance intermédiaire. (5/2/98)

François Couchot (LAL — Orsay)

Le satellite Planck-Surveyor, un outil exceptionnel pour la cosmologie. (12/2/98)

14. Publications et personnel

La liste des publications et du personnel du Laboratoire ayant consenti à être mis sur réseau est consultable sur le World Wide Web à l'adresse du Laboratoire : <http://cdfinfo.in2p3.fr>