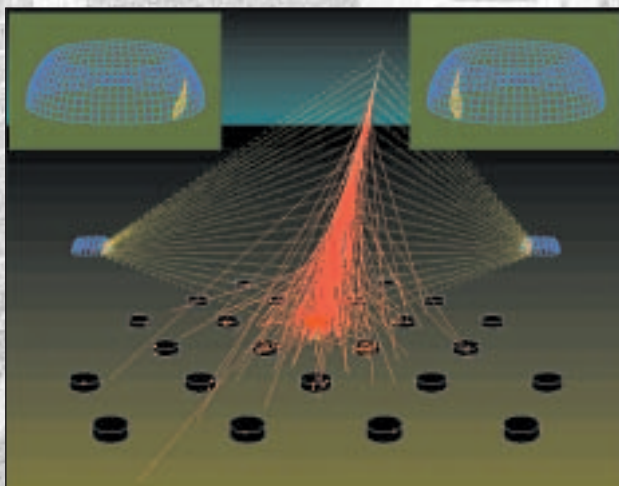


**RAPPORT  
D'ACTIVITÉ**

.....  
**2 0 0 0**  
**2 0 0 1**



**R A P P O R T  
D'ACTIVITÉ**

**2 0 0 0**



**2 0 0 1**

#### Responsabilité de la rédaction :

Pierre Astier, Ursula Bassler, Jean-Michel Lévy.

#### Collaboration éditoriale :

Isabelle Cossin.

#### Réalisation :

Jean-Yves Mathy.

#### Crédits photographiques :

LPNHE sauf pages 13, 23 et 51.

Logo : M.-C. Escher « Anneaux concentriques » © by SPADEM, 1983.

#### Couverture :

En haut : photo de la coupole du LPNHE.

En bas : une gerbe atmosphérique géante vue par l'Observatoire Pierre Auger (détection hybride des rayons cosmiques d'énergie extrême) : réseau de cuves Cherenkov au sol ; télescopes « œil de mouche » pour la fluorescence de l'azote.

Image de fond : implémentation du circuit intégré pour le nouveau codeur de temps (TDC) de l'expérience BABAR.

Conception graphique de l'image de fond de la couverture : Séverine Mauger.

#### Publié par :

Laboratoire de Physique Nucléaire et de Hautes Énergies  
4, place Jussieu - Tour 33 - RC - 75252 Paris Cedex 05

#### Impression :

IMP+ - 22, rue Maurice Ténine - 94260 Fresnes

© CNRS-LPNHE 3<sup>e</sup> trimestre 2002

# Sommaire

---

<b>Avant-propos</b>	5
<b>Activités scientifiques et techniques du laboratoire</b>	
<b>Physique sur accélérateur</b>	
Violation de CP : BABAR	11
Physique hadronique : DIRAC	14
Physique proton antiproton : DØ	15
Faisceaux de neutrinos : HARP	19
Physique au LEP : DELPHI	21
Physique au LHC : ATLAS	25
Futur collisionneur linéaire à électrons : TESLA	29
<b>Physique hors accélérateur</b>	
Rayon cosmiques d'énergies extrêmes : Observatoire Pierre Auger	31
Cosmologie avec les Supernovae Ia	35
Astronomie gamma des très hautes énergies : CAT/HESS	39
<b>Physique théorique</b>	
QCD et approches phénoménologiques	43
<b>Services techniques et administratifs</b>	47
<b>Vie du laboratoire</b>	63
<b>Diffusion de l'information scientifique</b>	73
<b>Liste des publications</b>	83
<b>Liste du personnel</b>	89



**L**e **Laboratoire de Physique Nucléaire et des Hautes Énergies** a pour domaine de recherche la physique expérimentale des particules, la cosmologie et les astroparticules, ce dernier terme désignant les phénomènes cosmiques de très haute énergie. Il s'agit dans tous les cas de participations à de grandes collaborations internationales. Les expériences ont lieu auprès d'accélérateurs de particules ou sur des sites observationnels répartis dans le monde entier. Par ailleurs, le LPNHE héberge une petite équipe de théoriciens en phénoménologie des particules.

La physique des particules est au seuil d'une nouvelle ère de découvertes. Durant les dix dernières années, nous avons découvert le quark top, le dernier quark du Modèle Standard, un quark aussi lourd qu'un atome d'or. Nous avons appris que les neutrinos ont une masse, et que leur nature change en fonction du temps. Nous avons confirmé l'unification électrofaible avec une précision extraordinaire, mesuré l'asymétrie matière antimatière dans les systèmes de quarks et étudié les interactions des quarks et des gluons. Un grand nombre d'expériences ont permis d'obtenir ces résultats, et le LPNHE a contribué à plusieurs d'entre elles.

Pendant les prochaines années, nous allons continuer notre exploration auprès des accélérateurs de particules au moyen du collisionneur Tevatron du Fermilab et de l'usine à B du SLAC aux USA. Le futur sera au LHC du CERN : son énergie, presque dix fois plus élevée que celle du Tevatron, permettra d'atteindre la structure même de l'espace-temps. Les développements théoriques conduisent à penser que le LHC pourrait mettre au jour de nouvelles dimensions de l'espace. Des théories comme la super-symétrie et les super-cordes suggèrent des mondes nouveaux qui devraient être accessibles au LHC. Elles fournissent une source pour la matière noire et ouvrent la voie à une unification des forces de la nature incluant la gravitation quantique.

Les observations astronomiques permettent d'atteindre les traces des débuts du « Big Bang ». A la suite de l'étude des supernovae de type Ia, à laquelle le LPNHE participe, plusieurs mesures suggèrent que l'univers est rempli de matière noire et d'énergie noire, différentes de tout ce que nous avons vu auparavant.

Les questions sont nombreuses : où est l'antimatière ? Quels mécanismes produisent les ultra-hautes énergies observées dans les rayons cosmiques ? Pourquoi les neutrinos changent-ils de nature ? Que sont cette matière noire et cette énergie noire ? Le LHC pourrait-il permettre de recréer cette matière noire ?

Les expériences en cours et en préparation auxquelles participe le LPNHE ont la capacité de répondre à ces questions et donner ainsi une nouvelle perspective à nos conceptions de la matière et de l'énergie, de l'espace et du temps.

Le programme du LPNHE est dominé par la très longue échéance à laquelle nous travaillons, que ce soit au moyen d'accélérateurs de particules ou dans des programmes d'observation au sol ou dans l'espace. L'expérience **ATLAS** au LHC commencera à prendre des données à partir de 2007. Les expériences spatiales comme le satellite **SNAP** ont des délais du même ordre. A plus long terme, un Collisionneur Linéaire et peut-être d'autres missions spatiales sont attendus dans 10-15 ans à partir de maintenant.

D'ici là, les expériences **DØ** et **Babar** vont accumuler des données : **DØ** sur le quark top et la recherche du Higgs, **Babar** sur la violation de la symétrie CP entre matière et antimatière et sur les mésons beaux. Pour l'étude des rayons cosmiques de très haute énergie, les grandes installations au sol comme **AUGER** ou **HESS** ont des calendriers couvrant la décennie ou plus mais commencent progressivement à prendre des données.

### **Modèle standard : le boson Higgs et au-delà**

Au cours des dernières années, les campagnes d'expériences de haute précision en particulier au LEP du CERN ont permis d'établir avec un grand degré de confiance la validité du Modèle Standard de la physique des particules. Les contraintes obtenues sur la dernière pièce manquante, le boson de Higgs, indiquent qu'il pourrait être mis en évidence dès avant le LHC. Le LPNHE a pris part aux expériences **DELPHI** du LEP au CERN et **H1** de HERA à DESY. Elles se continuent actuellement avec la participation à **DØ** au Tevatron de FNAL. Une des grandes leçons de ces expériences récentes est l'importance des mesures de précision.

Un test complet confirmant et précisant les résultats du LHC pourra être effectué avec la génération ultérieure d'accélérateurs, le collisionneur linéaire d'électrons et positrons, (**FLC**) qui devrait voir le jour d'ici une dizaine d'années. Le LPNHE a comme par le passé les moyens et la volonté d'être présent dans ces recherches, et en a débuté la préparation expérimentale.

### **Matière et antimatière, la violation de CP**

L'asymétrie entre matière et antimatière dans l'Univers pourrait avoir sa source dans les propriétés des composants primordiaux. L'observation de la violation du produit des symétries de parité et de charge dans les mésons K a été complétée par la découverte récente du même effet dans les mésons B. La poursuite de mesures détaillées et précises de ces effets, dans les quarks mais aussi, quand ce sera possible, dans la matrice de masse des neutrinos, apportera des réponses à cette question.

En ce qui concerne les quarks, le LPNHE va poursuivre sa participation à l'expérience **Babar**.

En ce qui concerne les neutrinos, le LPNHE termine actuellement l'expérience **HARP** de mesure des sections efficaces hadroniques nécessaires à la modélisation des sources de neutrinos. Le LPNHE devrait poursuivre son activité dans l'un de ces domaines par une nouvelle initiative à prendre dans les années qui viennent.

### **Astronomie gamma à très hautes énergies**

Il s'agit d'un domaine d'observation en train de s'ouvrir par la détection des gerbes atmosphériques engendrées par des photons de plusieurs dizaines de GeV à plusieurs TeV. L'expérience **CAT** sur le site de la centrale Thémis (Pyrénées Orientales), a fourni des données extrêmement originales sur des sources variables. Elle se terminera en 2003.

L'avenir de ce domaine demande plusieurs télescopes, dans un site permettant un maximum de temps d'observation, et donnant accès au centre galactique. Ces conditions ont été réunies dans un observatoire de quatre puis plus tard seize télescopes en Namibie construit par la collaboration **HESS**. Le début des observations a lieu en 2002 mais la construction durera encore plusieurs années. Le LPNHE construit l'électronique de lecture des caméras photoélectriques de ces télescopes.

Un des sujets d'étude prometteurs est la recherche de gammas provenant de l'annihilation de particules supersymétriques (les neutralinos) composants possibles de la matière noire piégés par gravitation dans le centre de la galaxie ou dans des amas globulaires.

### **Rayons cosmiques de très hautes énergies**

Les rayons cosmiques fournissent une voie d'accès à des énergies bien au delà de celles que peuvent atteindre les accélérateurs. Ils constituent aussi de nouveaux moyens d'observations astrophysiques. La collaboration internationale **AUGER** s'est créée au LPNHE autour du projet d'observer et étudier les rayons cosmiques d'ultra-hautes énergies par la détection des gerbes produites dans la haute atmosphère. Elle construit des détecteurs de particules chargées répartis sur des surfaces de plusieurs milliers de kilomètres carrés, accompagnés de détecteurs de la lumière de fluorescence émise. Le premier est en construction en Argentine, un second est prévu dans l'hémisphère nord.

Un des buts principaux est de clarifier l'existence et les propriétés de particules d'énergies telles que le cosmos doit leur être opaque (« particules zetta »). Il permettra aussi de détecter les neutrinos  $\tau$  d'ultra-haute énergie. Le LPNHE participe à la construction des systèmes de communication entre les détecteurs individuels, au déclenchement et à la mise en forme des données. Les premières observations sont attendues en 2002 et s'étendront sur une décennie. La construction du site Nord doit être décidée ensuite.

### **Énergie noire**

Un domaine qui suscite beaucoup d'interrogations est celui de la cosmologie et de l'évolution de l'Univers. Au niveau théorique, les deux idées dominantes de ces dix dernières années ont été l'inflation et la matière noire froide. Il est remarquable que les spectaculaires progrès au niveau expérimental soient venus partiellement conforter ces hypothèses. La grande surprise cependant a été la mise en évidence de l'accélération de l'expansion, d'abord obtenue au moyen des supernovae de type Ia et à laquelle le LPNHE a participé. Par la suite, ces mesures ont été trouvées en accord avec les résultats combinés de l'étude du rayonnement micro-onde cos-

mique et de la densité de matière estimée au moyen de l'étude des lentilles gravitationnelles.

Le problème de la matière noire est relativement ancien et trouve son origine dans l'observation précise des grandes structures de l'Univers. Sa solution pourrait venir de la physique des particules au-delà du modèle standard (axion, neutralino). La question de l'énergie noire est beaucoup plus récente. Les mesures très précises des supernovae de type Ia qui sont en préparation ont pour but d'obtenir des indications précises sur la nature de cette énergie noire.

Les atouts du LPNHE, au niveau observationnel, sont considérables dans ce domaine : depuis 1998 le LPNHE participe aux recherches de supernovae lointaines utilisables pour la mesure des paramètres cosmologiques au sein du Supernova Cosmology Project (**SCP**). Cette activité se développe dans trois nouvelles directions :

La recherche à des décalages vers le rouge intermédiaires se prolongera vers les plus grand  $z$  (jusqu'à  $z=0,9$ ) grâce à la caméra MEGACAM sur le télescope Canada-France-Hawaii avec le programme « **CFHT Legacy Survey** » prévu jusqu'en 2008. L'usine à supernovae (programme **SNF**) permettra la caractérisation fine de l'objet supernova en étudiant précisément quelques centaines à bas décalage vers le rouge ( $z\sim 0,05$ ). Enfin, pour étendre la mesure aux  $z$  supérieurs à 1 avec une statistique élevée il sera nécessaire d'aller dans l'espace. C'est le but du projet **SNAP Supernova Acceleration Probe** initié par le SCP. Le groupe du LPNHE est moteur dans ce projet ; le lancement du satellite SNAP est prévu pour 2009.

Enfin, il faut souligner que les contributions du LPNHE embrassent l'ensemble de chaque programme, depuis la conception de l'expérience, le choix des instruments à utiliser, l'étude et la réalisation de ces instruments, l'acquisition des données et leur traitement, jusqu'à la publication des résultats et leur explication théorique. Pour cela les physiciens s'appuient sur des compétences en mécanique, électronique et informatique qui permettent de proposer, faire accepter par les collaborateurs et réaliser les instruments conçus au LPNHE.

Toutes ces activités ont lieu au sein de collaborations internationales dans lesquelles la visibilité des membres

du LPNHE résulte d'importantes contributions clairement identifiées. Cela se traduit en particulier par la création ou la participation du LPNHE à deux réseaux de formation européens RTN et un laboratoire européen associé LEA.

Une tranche temporelle sur deux ans de ces activités est présentée en détail dans ce rapport. Pierre Astier, Ursula Bassler et Jean-Michel Lévy, avec l'aide d'Isabelle Cossin en ont assuré l'édition et bien souvent la rédaction. Au nom de l'ensemble du Laboratoire, je leur adresse à tous un grand merci.

Jean-Eudes Augustin

Directeur du LPNHE





## Physique sur accélérateur

---

Violation de CP : BABAR  
Physique hadronique : DIRAC  
Physique proton antiproton : DØ  
Faisceaux de neutrinos : HARP  
Physique au LEP : DELPHI  
Physique au LHC : ATLAS  
Futur collisionneur linéaire à électrons : TESLA

## Physique hors accélérateur

---

Rayon cosmiques d'énergies extrêmes : Observatoire Pierre Auger  
Cosmologie avec les Supernovae Ia  
Astronomie gamma des très hautes énergies : CAT/HESS

## Physique théorique

---

QCD et approches phénoménologiques

## Services techniques et administratifs

---

L'électronique  
La mécanique  
L'informatique  
Services administratifs  
Services généraux

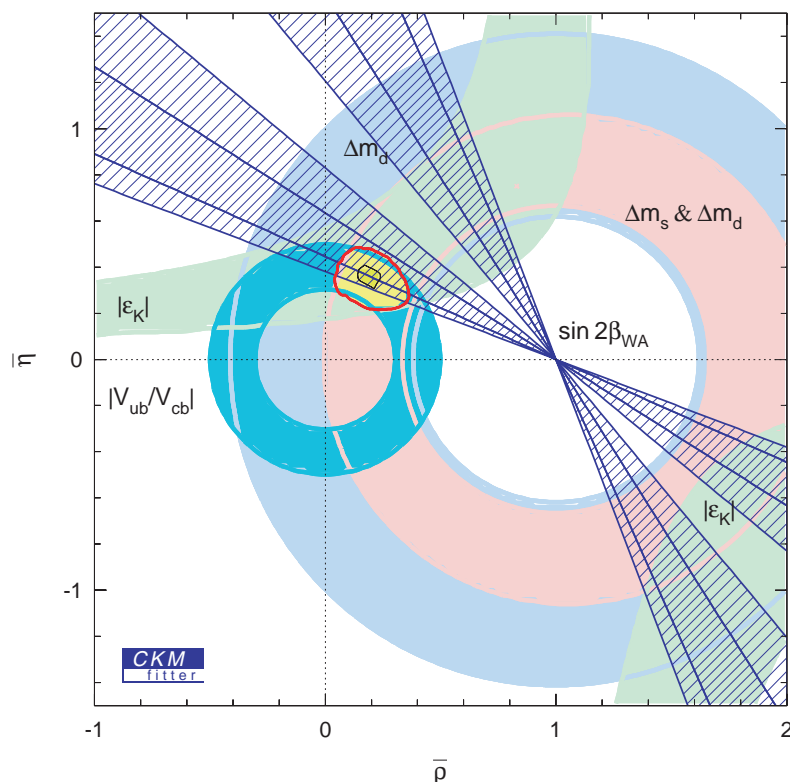


# Violation de CP : BABAR

La découverte de la violation de CP dans les désintégrations des mésons B a été annoncée par les expériences BABAR et BELLE pendant l'été 2001.

BABAR, l'expérience à laquelle participent quatre équipes de l'IN2P3 et une équipe du CEA, est installée sur PEP2, l'usine à mésons B du SLAC (Stanford Linear Accelerator Center, États-Unis). Les usines à mésons B (PEP2 et KEKB au Japon) et les expériences associées, BABAR et BELLE, ont enregistré leurs premiers événements en 1999. Avec les données accumulées depuis, qui correspondent pour BABAR, à une luminosité intégrée de  $56 \text{ fb}^{-1}$ , débutent maintenant les études qui visent à fournir un test très précis du modèle standard électrofaible : les contraintes expérimentales sur les paramètres de la matrice CKM, associée au mélange des saveurs de quarks, seront-elles compatibles avec la construction d'un seul et même triangle d'unitarité ?

Le LPNHE a participé à l'expérience BABAR dès son début, en 1994. Pendant les phases de construction et de mise en service, le LPNHE a pris des responsabilités sur le compteur Cerenkov DIRC, la production d'événements simulés et les logiciels de reconstruction. Depuis le début de la prise de données les analyses de physique constituent la part majeure de l'activité de l'équipe.



## Construction et aspects opérationnels

L'accélérateur PEP2 est en constante amélioration afin d'accroître la luminosité et faire face à la concurrence serrée de l'expérience BELLE. La montée en luminosité a pour contrepartie un accroissement des taux de comptage des photomultiplicateurs du DIRC qui oblige à une mise à niveau de son électronique frontale. Le LPNHE qui avait fourni les circuits intégrés mesureurs du temps (TDC) a pris en charge la construction de nouveaux TDC plus perfor-

Figure 1 : contraintes sur le sommet du triangle d'unitarité de la matrice CKM. Les zones hachurées sont permises à 2 ou 3 écarts-types par la moyenne mondiale des mesures de  $\sin 2\beta$ , après mise à jour des résultats des usines à mésons B :  $\sin 2\beta = 0,75 \pm 0,09 \pm 0,04$  (BABAR) et  $\sin 2\beta = 0,82 \pm 0,12 \pm 0,05$  (BELLE). La région permise est significativement réduite par rapport à celle (entourée de rouge) correspondant aux autres mesures que celles de  $\sin 2\beta$ .

mants. Ce projet est décrit en détail dans le chapitre consacré à l'électronique. Leur installation sur le détecteur est prévue pendant l'arrêt de la machine à l'été 2002.

L'implication opérationnelle des physiciens du LPNHE couvre la surveillance du DIRC, l'assurance qualité des données de ce détecteur et leur reconstruction. Un physicien du groupe a été responsable de la coordination de la prise de données d'avril à août 2001.

Les physiciens français de BABAR ont reçu un fort soutien de l'IN2P3 pour développer le Centre de Calcul, CCIN2P3 et en faire un site de premier plan (Tier-A) pour la collaboration. Depuis le début de la collaboration BABAR, le laboratoire y assure la production des données de la simulation générale.

Un projet est envisagé qui consiste en la mise en œuvre au CCIN2P3 par le LPNHE du logiciel utilisé à SLAC pour optimiser l'accès aux données entre disques et stockage de masse. Ce logiciel pourrait être étendu pour gérer le transfert des données entre les centres de calcul de l'expérience.

Le groupe du LPNHE avait pris en charge l'organisation de la réunion de collaboration à Paris du 17 au 21 septembre 2001. Les événements du 11 septembre en ont provoqué l'annulation.

### Physique

L'expertise acquise par les physiciens du LPNHE lors de l'écriture des outils logiciels de reconstruction des vertex, d'ajustement cinématique et d'étiquetage de la saveur leur a permis de contribuer de façon significative aux analyses dites « dépendantes du temps » qui ont

abouti à la découverte de la violation de CP dans le système  $B^0\bar{B}^0$  par la mesure de  $\sin 2\beta$ . L'étude des distributions de  $\Delta t$  sur des échantillons étiquetés ou non de mésons B complètement reconstruits dans des canaux hadroniques états propres de beauté ou de CP a conduit à la détermination des durées de vie des mésons B et à la mesure de  $\sin 2\beta$ . En particulier, une mesure de haute précision des durées de vie des mésons B neutres et chargés et de leur rapport a fait l'objet d'une thèse. Le résultat,  $\tau^+/\tau^0 = 1,082 \pm 0,026$  (stat)  $\pm 0,012$  (syst) montre le niveau des effets non-spectateurs dans les désintégrations des mésons B et promet une mesure au pour cent près. Ces résultats sur les durées de vie et leur rapport pèsent significativement sur les moyennes mondiales et ont été publiés dans Phys. Rev. Lett.

Les analyses de physique en cours et en préparation au LPNHE se concentrent sur la mesure de l'angle  $\gamma$  du triangle d'unitarité. Deux approches complémentaires sont poursuivies. La première consiste à étudier des rapports de rapports de branchement de désintégrations de mésons B vers des états finals à deux corps sans charme. Moyennant des hypothèses théoriques (factorisation), une mesure de  $\gamma$  sensible à une physique au-delà du modèle standard en est attendue. La seconde méthode étudiée pour déterminer  $\gamma$  recherche la violation directe de CP dans les canaux  $B \rightarrow DK$ , certains faisant intervenir des désintégrations de mésons charmés doublement interdites par l'angle de Cabibbo. La première méthode fait l'objet d'une thèse préparée au laboratoire depuis janvier 2001. La seconde est le sujet d'une thèse qui commencera en octobre 2002.

L'effort pour déterminer la durée de vie des leptons  $\tau$  se poursuit dans l'expérience et au LPNHE. Nous envisageons à plus long terme un programme de physique étudiant les facteurs de forme des mésons légers dans les désintégrations du  $\tau$ . Cette étude est motivée par la grande statistique attendue et l'excellente identification des particules que fournit le détecteur et doit permettre de mieux contraindre et tester les théories effectives de QCD à basse énergie. Ce projet participe d'une démarche analogue et complémentaire à l'expérience Dirac décrite dans ces pages.

### Conclusions et perspectives

La découverte de la violation de CP dans les désintégration des mésons B est un premier grand succès des usines à B. La prise des données amènera des mesures de précision sur lesquelles se fondera un vaste programme de physique électrofaible dans le secteur des saveurs.

Le détecteur BABAR et le collisionneur PEP2 fonctionnent de façon remarquable. La luminosité instantanée a atteint  $4,53 \cdot 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  et la luminosité intégrée chaque mois dépasse  $6 \text{ fb}^{-1}$  avec une efficacité de collecte des données souvent supérieure à 95 %. Une luminosité de  $500 \text{ fb}^{-1}$  devrait être atteinte fin 2006 dans un scénario prévoyant le minimum d'interventions sur le dispositif expérimental. Les chiffres de l'expérience concurrente BELLE sont légèrement supérieurs.

Au-delà des usines à B, les expériences CDF et DØ ont repris à haute luminosité au Tevatron avec des détecteurs améliorés permettant d'obtenir des résultats de premier plan en physique des hadrons beaux. Les mesures des oscillations des mésons  $B_s$  sont attendues avec

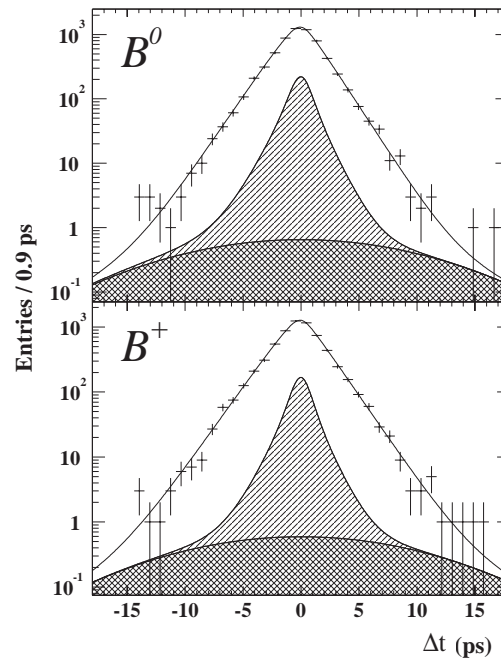


Figure 2 : distributions de l'intervalle de temps propre  $\Delta t$  entre les désintégrations du méson B complètement reconstruit et de l'autre méson B de la paire issue de l' $\gamma$  (4S) pour les mésons B neutres (en haut) et chargés (en bas). L'échelle logarithmique permet de voir que l'ajustement rend compte des distributions sur toute leur étendue.

intérêt à cause des contraintes, complémentaires à celles de  $\sin 2\beta$ , qu'elles apporteront sur le triangle d'unitarité. Plus tard, lorsque l'expérience BTeV à FNAL et les expériences au LHC (notamment LHCb) démarreront, les collisionneurs  $e^+e^-$  actuels perdront de leur compétitivité. C'est pourquoi des études sont en cours à KEK et à SLAC pour envisager une augmentation plus rapide de la luminosité qu'initialement prévu. Des études de nouvelles usines à B et de nouveaux détecteurs sont également lancées.

### J. Chauveau

M. Benayoun, H. Briand,  
P. David, L. Del Buono,  
C. de la Vaissière, O. Hamon,  
F. Le Diberder, Ph. Leruste,  
F. Martinez-Vidal, J. Ocariz,  
M. Pivk, L. Roos, J. Stark.

### Électronique :

P. Bailly, H. Lebbolo, A. Vallereau.

### Informatique :

L. Martin.

## Physique hadronique : DIRAC

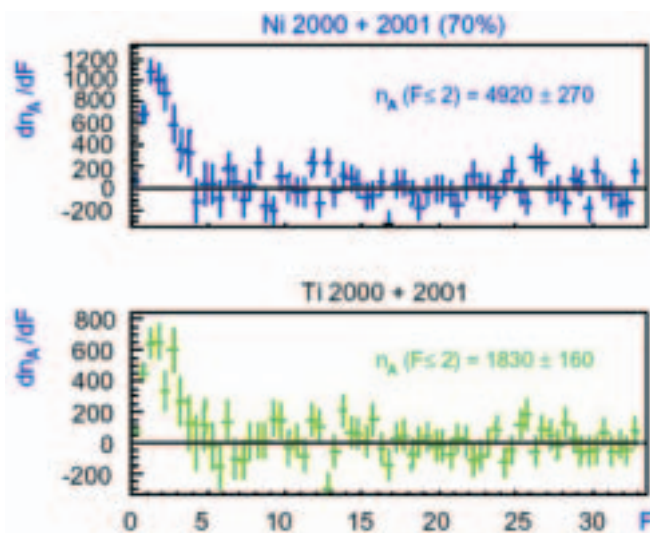
Les interactions fortes des hadrons sont décrites par le régime non-perturbatif de la QCD. Ce régime complexe est l'objet de la Théorie Perturbative Chirale (ChPT) qui incorpore de façon cohérente toutes les propriétés de symétrie de QCD. Une violation de ses prédictions serait une violation des principes de base de QCD. Parmi les prédictions de ChPT, une des plus précises est l'existence d'atomes  $\pi^+\pi^-$  liés par

mesurable que dans des expériences de collisions hadroniques où le nombre de hadrons produits est grand. Dans un tel environnement, identifier les quelques paires de  $\pi^0$  qui proviendraient de la désintégration d'atomes  $\pi^+\pi^-$  est désespéré. L'idée qui sous-tend l'expérience DIRAC, est d'ioniser ces atomes dans la cible, peu après leur production, et d'identifier les paires  $\pi^+\pi^-$  qui en émergent. Pour cela on utilise leur particularité principale : les impulsions de ces deux particules sont parallèles et de valeurs absolues très voisines.

L'expérience DIRAC est une expérience de cible fixe, équipée d'un spectromètre classique à deux bras en aval d'un aimant de courbure. Un faisceau de protons de 26 GeV est envoyé sur différentes cibles nucléaires (Titane, Platine, Beryllium). La participation du Laboratoire concerne essentiellement la prise de données, leur analyse et différents problèmes de modélisation. L'expérience a démarré en 1999 par des prises de données consacrées à la calibration. Les données physiques sont collectées depuis 2000 et ce jusqu'à la fin de 2002. Les données de 2000 et 2001 ont déjà montré l'existence du signal des atomes  $\pi^+\pi^-$ . La calibration du Monte Carlo et les programmes de traitement des données sont pratiquement achevés ; les premiers résultats sur la durée de vie du pionium sont attendus pour l'automne 2002.

M. Benayoun

Ph. Leruste, J.-L. Narjoux.



*Paires atomiques  $\pi^+\pi^-$  observées dans différents matériaux cible à  $F < 2$ ,  $F$  étant le moment  $Q$ , pondéré par la résolution de ses composantes transversale et longitudinale.*

la force électromagnétique, comme les atomes ordinaires (nucléons et électrons) dont la durée de vie prévue est de  $3.7 \cdot 10^{-15}$  seconde (3.7 fs). La précision théorique sur ce chiffre est de 10 %. L'objet de l'expérience DIRAC au PS du CERN est d'observer ces atomes et de mesurer leur durée de vie avec cette précision. Le seul mode de désintégration possible de ces atomes  $\pi^+\pi^-$  est en une paire de mésons  $\pi^0$ . Les atomes  $\pi^+\pi^-$  ne peuvent être produits en quantité

# Physique proton antiproton : DØ

Le Run II du Tevatron a débuté au printemps 2001 après cinq années d'amélioration de la machine et des expériences CDF et DØ. Il offre des possibilités uniques pour la physique des hautes énergies sur accélérateur avant le démarrage du LHC. De nouveaux résultats sont attendus particulièrement pour la recherche de nouvelles particules et du boson de Higgs, ainsi que dans le domaine du quark top, découvert par CDF et DØ en 1995. On attend également de nouvelles mesures de précision dans le domaine électrofaible ainsi que des études originales dans le domaine de la physique du quark b.

## DØ et le Tevatron au Run II

Les améliorations du Tevatron, dont l'énergie par faisceau a augmenté de 10 % pour atteindre 980 GeV, permettront in fine une augmentation de la luminosité instantanée d'un facteur vingt. Après une phase d'étude de la machine pendant le printemps 2000 et sa qualification à l'automne 2000, le début de la prise des données de physique a eu lieu le 1<sup>er</sup> mars 2001. Les premiers mois de fonctionnement ont été utilisés pour la mise au point de l'accélérateur et des détecteurs. L'accumulation d'une luminosité intégrée d'environ  $30 \text{ pb}^{-1}$  a permis de présenter des premiers résultats aux Rencontres de Moriond 2002.

L'amélioration principale de l'expérience DØ est un nouveau système de mesure des traces chargées, dont



les composantes principales sont un détecteur de vertex et un détecteur de traces à fibres scintillantes. Un solénoïde situé à l'intérieur du cryostat et fournissant un champ magnétique de 2 T permet la mesure précise de l'impulsion des particules chargées. Un détecteur de pied de gerbes entre le solénoïde et le cryostat pallie la présence de matériaux non instrumentés devant le calorimètre. Pour ce dernier, seule l'électronique a été changée afin d'être adaptée aux nouveaux paramètres temporels de l'accélérateur.

Figure 1 : la collaboration DØ avec le détecteur en position finale.



La participation à la deuxième phase de DØ a été recommandée par les conseils scientifiques du LPNHE et de l'IN2P3 en septembre 1997. L'entrée officielle des laboratoires de l'IN2P3 (CPPM-Marseille, ISN-Grenoble, LAL-Orsay et LPNHE-Paris) a eu lieu en janvier 1998. En 2000 et 2001 les équipes de l'IPNL (Lyon) et de l'IreS (Strasbourg) sont venues renforcer la participation française, qui comprend en outre l'équipe du DAPNIA (Saclay) qui fait partie de DØ depuis le Run I.

L'équipe du LPNHE a concentré ses activités autour de la calorimétrie, un des éléments essentiels pour la recherche de nouvelle physique et les mesures de précision. Les efforts dans ce domaine s'étendent de la réalisation du système de calibration en ligne au développement des algorithmes de reconstruction. Deux analyses sur les données du Run I ont permis de maîtriser les spécificités de ce type de travail auprès d'un collisionneur hadronique.

#### **Qualification calorimétrique**

Les nouveaux paramètres temporels imposés par l'accélérateur, (temps de croisement des paquets passant de 3.5  $\mu$ s à 396 ns) nécessitent non seulement une nouvelle électronique d'acquisition pour le calorimètre, faisant appel à des techniques de temporisation des signaux, mais aussi un nouveau système de calibration électronique. La réduction du temps de mise en forme du signal exige pour le Run II une forme du signal de calibration proche du signal physique. La conception et la construction du nouveau système de calibration électronique du calorimètre de DØ, en collaboration avec le LAL, a été l'une des activités principales du groupe du laboratoire de 1998 à

2000. La première partie de cette activité s'est achevée avec la fin de l'installation du système à l'hiver 2000. Elle s'est poursuivie avec la mise au point précise du système et la qualification du calorimètre dans son ensemble.

Outre la réalisation technique, l'intégration de la calibration électronique dans le système en ligne de DØ est en cours. Ceci comprend les diverses tâches de communication à partir de la salle de contrôle jusqu'aux générateurs d'impulsions, la détermination des constantes de calibration et leur acheminement jusqu'aux bases de données utilisées pour la reconstruction hors ligne du calorimètre. L'intercalibration des 55 000 canaux du calorimètre a montré une dispersion entre les canaux de l'ordre de 5 % et une première vérification de la conversion des coups ADC en énergie a fixé l'échelle absolue à 10 %. La grande souplesse du système de calibration permet également son utilisation intensive pour la qualification de la nouvelle électronique du calorimètre, dont un membre du groupe est responsable.

Avec les premiers événements une calibration in situ à l'aide de différents processus physiques complète la calibration en ligne. Parmi les laboratoires français le travail a démarré sur la calibration électromagnétique à l'aide de résonances, en particulier le  $J/\Psi$  et le Z, ainsi que sur la calibration hadronique qui peut être obtenue avec des événements  $\gamma + \text{jet}$ .

#### **Les algorithmes de reconstruction**

##### **Énergie transverse manquante**

La recherche de nouvelles particules et la physique du top nécessitent une reconstruction optimale de l'énergie transverse manquante. Différentes sources de détériorations ont été étudiées : l'effet d'une

mauvaise reconstruction du vertex et la présence de « cellules de bruit », définies de manière générale comme des cellules du calorimètre dont l'énergie n'est pas issue de l'interaction.

L'algorithme de réjection des cellules de bruit utilisé au Run I était limité par un taux élevé de réjections erronées. En tenant compte de l'énergie mesurée dans toutes les cellules voisines d'une éventuelle cellule de bruit, un nouvel algorithme (NADA) a été développé: il garde une bonne efficacité de réjection tout en diminuant le taux de mauvaises identifications et permet aussi d'identifier les cellules de bruit de basse énergie (1 GeV). L'utilisation intensive de cet algorithme par la collaboration s'est révélée cruciale depuis le début du Run II.

### Électrons de basse énergie

Le nouveau système de mesure des traces permet de mesurer les électrons de basse énergie avec une résolution meilleure que celle obtenue avec le calorimètre. L'identification des candidats électrons à partir du système de mesure des traces est validée en utilisant les informations fournies par le détecteur de pied de gerbes et le calorimètre. Le développement et la mise en œuvre d'un algorithme d'identification des électrons de basse énergie a constitué la partie centrale de l'habilitation d'un des physiciens du groupe. Il a été développé en grande partie lors d'un séjour post-doctoral de 2 ans au LBL.

### Production des événements simulés

Les études préparatoires au Run II ont nécessité une simulation précise des processus physiques dans le détecteur. Le LPNHE a fourni une contribution importante pour les productions sur une ferme LINUX

mise en place au CCIN2P3 de Lyon (plusieurs millions d'événements simulés). L'adaptation des outils utilisés à FNAL à l'architecture du Centre de Calcul est pour cela d'une grande importance afin d'assurer la production des données et leur transmission efficace entre Lyon et les États-Unis. Le succès de la contribution française à la production d'événements simulés a encouragé le développement de sites de production extérieurs à FNAL et de nouvelles solutions pour le calcul à distance au sein de la collaboration.

### Physique

#### Recherche du stop ( $\tilde{t}$ ) au Run I

Avant le redémarrage de l'expérience, l'étude des données du Run I, prises entre 1992 et 1996, a permis de se familiariser avec les contraintes et l'analyse des événements et constitue un premier test pour des stratégies d'analyse du Run II.

Deux analyses ont été faites au sein du groupe et ont fait l'objet de la première thèse dans DØ-IN2P3. La première, publiée dans Phys. Rev. Letter, supposait que le  $\nu$  scalaire ( $\tilde{\nu}$ ) était la particule supersymétrique la plus légère: dans ce cas le stop se désintègre la plupart du temps en  $b$ -lepton- $\tilde{\nu}$ , et l'étude de l'état final électron, muon et énergie transverse manquante, a permis d'obtenir des limites d'exclusion jusqu'à environ 140 GeV sur la masse du  $\tilde{t}$ , soit 20 GeV de mieux que ce qui avait été fait auparavant par CDF et 40 GeV de mieux que les expériences auprès du LEP.

Le calcul de la désintégration en quatre corps du  $\tilde{t}$  (A. Djouadi et al., 1999) a permis une nouvelle stratégie de recherche du stop. Le laboratoire a développé cette étude et une deuxième publication avec les nouvelles limites d'exclusions obtenues est en cours de préparation.

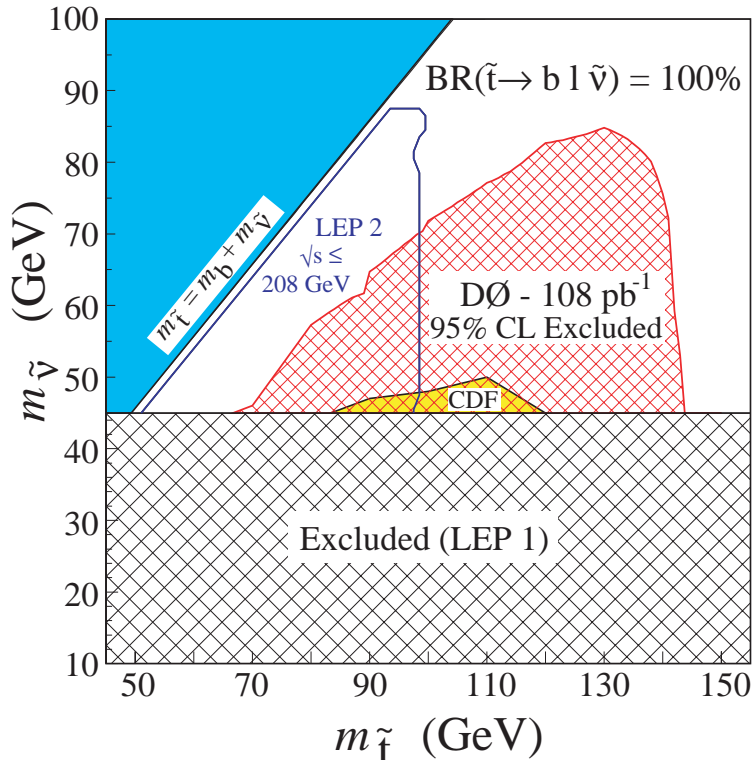


Figure 2 : limite d'exclusion du  $\tilde{t}$  dans le canal  $b l \tilde{\nu}$  dans un modèle SUSY, si le  $\tilde{\nu}$  est la particule supersymétrique la plus légère.

### Perspectives

Le développement des potentialités du système de calibration du calorimètre continuera à être une des activités importantes du groupe, et rejoindra naturellement le travail fait sur les algorithmes hors ligne du calorimètre.

Pour l'analyse, nos centres d'intérêt se portent sur la physique du top, qui en raison de sa masse élevée d'environ 175 GeV peut jouer un rôle particulier dans les manifestations d'une physique au-delà du Modèle Standard, et dans la recherche du boson de Higgs, axe majeur de la physique des particules actuelle.

L'augmentation de la statistique des événements top permettra la mesure de la section efficace de production ainsi que des mesures de sa masse avec une grande précision. Une thèse sur ce sujet débutera à la rentrée 2002. La réduction de l'erreur jusqu'à  $\Delta M_{\text{top}} \sim 2$  GeV contraindra davantage le domaine de masse prédit pour le boson de Higgs dans le Modèle Standard. La recherche

directe du boson de Higgs a démarré en 2001 au laboratoire avec une étudiante en thèse sur ce sujet. La recherche de la production électrofaible du quark top est aussi un sujet intéressant le groupe du laboratoire, et un étudiant en thèse commencera ce travail à l'été 2002. Ces deux dernières études nécessitent une luminosité importante et une compréhension précise des jets de quark b ainsi que de l'énergie transverse manquante, en bonne harmonie avec les spécialités techniques du laboratoire.

### G. Bernardi

B. Andrieu, U. Bessler,  
S. Beauceron, F. Fleuret, T. Kurça,  
F. Machefert, B. Olivier,  
S. Trincaz-Duvoid.

### Électronique:

Ph. Bailly, H. Lebbolo, A. Vallereau.

### Informatique:

J.-F. Huppert, E. Lebreton.

## Faisceaux de neutrinos : HARP

---

Les récents signes positifs d'oscillations obtenus en particulier avec les neutrinos atmosphériques et les neutrinos solaires sont peut-être la première manifestation d'une physique au-delà du Modèle Standard. Une étude complète du phénomène des oscillations, y compris d'une violation possible de la symétrie CP, va nécessiter des accélérateurs d'un type nouveau : les usines à neutrinos. Conçues comme une étape intermédiaire vers la construction de collisionneurs à muons, elles permettraient de disposer de faisceaux dont la composition et le spectre sont parfaitement connus, mais aussi très intenses (100 fois plus que les faisceaux actuels) et très collimés, donc adaptés aux expériences d'oscillations à grande distance. Parmi les préalables à la conception de ces machines figure une bonne connaissance de la distribution des pions et kaons produits dans les collisions des protons avec la cible. Ces pions devront être focalisés avant leur désintégration en muons, dans un dispositif expérimental dont l'efficacité dépendra de cette connaissance.

L'expérience HARP se propose donc de faire une étude précise et systématique de la production de hadrons par des faisceaux de 2 à 15 GeV/c incidents sur un ensemble de cibles allant de l'hydrogène au plomb.



*Vue du détecteur HARP*

Au-delà de cet objectif initial, la mesure de HARP permettra également une meilleure connaissance du rayonnement cosmique secondaire à l'origine du flux de neutrinos atmosphériques et donc une réduction de l'incertitude sur les oscillations observées.

Enfin les résultats de HARP seront essentiels pour confronter les modèles de développement de gerbes hadroniques, utilisés dans les simulations Monte Carlo, avec les données.

L'expérience HARP a été approuvée en février 2000 et construite en 18 mois. Elle est installée dans le Hall Est du PS au CERN. Le faisceau secondaire T9 est amené sur

une cible (interchangeable) placée à l'intérieur d'une TPC servant à la mesure et à l'identification des particules chargées émises à grand angle. Les particules produites vers l'avant sont détectées par un spectromètre formé de chambres à dérive, d'un Cherenkov à seuil, d'un système de temps de vol et d'un calorimètre.

Le groupe du LPNHE a la responsabilité de 23 chambres à dérive récupérées de l'expérience NOMAD et transformées mécaniquement pour pouvoir s'adapter au champ magnétique vertical de l'aimant dipolaire de HARP. Le service de mécanique du laboratoire a étudié et réalisé la modification du système de suspension. Le choix par l'expérience HARP d'une acquisition homogène en VME a nécessité le recours aux TDC CAEN V767, dont la mise en œuvre s'est avérée laborieuse et délicate. Enfin le gaz de NOMAD (40 % argon - 60 % éthane) étant désormais prohibé au CERN car hautement inflammable, nous avons dû utiliser un mélange non explosif (90 % Ar - 9 % CO<sub>2</sub> - 1 % CH<sub>4</sub>) mais moins efficace: la configuration de champ de ces chambres impose un point de fonctionnement à beaucoup plus basse tension (1300V contre 1750V dans NOMAD) induisant une efficacité par coup de l'ordre de 92 % à comparer aux 98 % de NOMAD. Le groupe partage avec une équipe de Dubna la responsabilité de la maintenance, de l'acquisition et maintenant de l'alignement et de la reconstruction dans les chambres.

L'expérience HARP a pu prendre des données utiles pendant 2 mois en 2001 et, après correction d'un problème de déclenchement inefficace, reprendra 4 mois de données

en 2002 sur l'ensemble des impulsions et cibles prévues, incluant en particulier des cibles cryogéniques (H<sub>2</sub>, D<sub>2</sub> et O<sub>2</sub> qui concernent les neutrinos atmosphériques) et des répliques des cibles des expériences K2K et MiniBOONE (faisceaux classiques de neutrinos).

J. Dumarchez

B. Popov, S. Troquereau,  
F. Vannucci.

Mécanique :

A. Commerçon, M. Pairat,  
Ph. Repain.

# Physique au LEP : DELPHI

**A**vec l'arrêt brutal du LEP en novembre 2000 les activités du groupe ont eu pour objectif l'analyse finale des canaux de physique dont il a la responsabilité.

## Recherche de particules supersymétriques dans le MSSM

Ces analyses conduisent à des limites d'exclusion en masse. Les résultats sont inclus dans l'analyse globale, unifiée et unique que DELPHI réalise pour conclure les recherches sur le MSSM. Ils ont fait l'objet de présentations au LEP Jamboree et à diverses conférences comme Tau2000. Une thèse est en cours.

### Recherche du $\tilde{\tau}$

Le partenaire supersymétrique du  $\tau$  doit être la particule supersymétrique détectable la plus légère selon plusieurs scénarios de brisure de symétrie. On s'attend en outre à ce que le  $\tilde{\tau}$  soit représenté par deux particules distinctes, différant par leur isospin faible. Ces deux états d'isospin se mélangent pour fournir les états propres de masse (états physiques observables). La masse de l'un d'eux pourrait être très faible.

Les  $\tilde{\tau}$  sont produits par paires au LEP et chacun se désintègre en un  $\tau$  et une LSP, la plus légère des particules supersymétriques supposée neutre, stable et indétectable. Le signal typique pour la production de  $\tilde{\tau}$  est l'observation des produits de désinté-

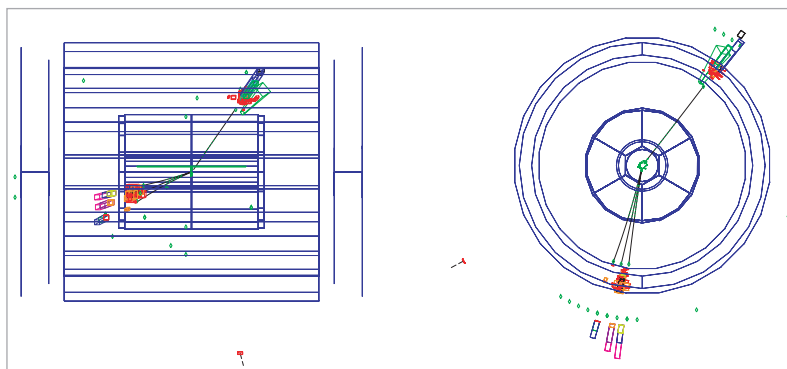


Figure 1 : événement enregistré en Août 98 et candidat possible pour la réaction  $e^+e^- \rightarrow \tilde{\tau}^+\tilde{\tau}^- \rightarrow \tau^+ \tau^- E_{\tau}^{miss}$ .

gration de deux  $\tau$  acoplanaires, contenant beaucoup moins d'énergie que l'énergie initiale  $e^+e^-$ . Dans DELPHI cette analyse a été menée principalement au LPNHE en collaboration avec un institut de physique de Rio de Janeiro. Aucun excès d'événements n'a été observé, le principal bruit de fond étant constitué d'événements  $WW$  se désintégrant en  $\tau\nu$ . Une limite supérieure à 95 % de confiance a été obtenue pour la production de paires de  $\tilde{\tau}$ .

### Squarks de 3<sup>e</sup> génération dégénérés en masse

Les squarks de la 3<sup>e</sup> génération, le  $\tilde{t}$  et le  $\tilde{b}$ , partenaires supersymétriques des quarks top et bottom, sont cruciaux pour la brisure électrofaible  $SU(2) \times U(1)$ , l'ajustement fin de la masse du  $Z^0$  et la valeur du paramètre  $\tan\beta$ . Ils interviennent également dans la masse du Higgs, la baryogénèse ( $\tilde{t}$  léger) et la physique du  $b$  (par exemple:  $b \rightarrow s\gamma$ ).

Ils ont été activement recherchés,

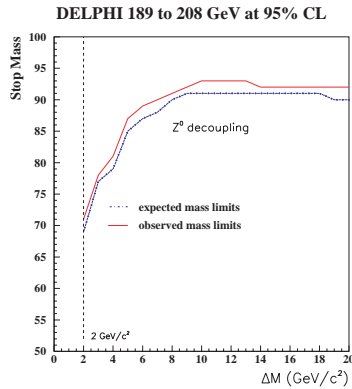


Figure 2 : limite sur la masse du  $\tilde{t}$  en fonction de  $\Delta M$  pour une section efficace de production minimale.

cette dernière décennie, tant au LEP (CERN) qu'au Tevatron (FNAL). En effet dans le modèle de « hiérarchie inversée », scénario le plus satisfaisant, les squarks de la 3<sup>e</sup> génération sont relativement légers, c'est-à-dire ont une masse bien inférieure au TeV, ce qui a pour résultat une brisure de symétrie électrofaible sans ajustement fin de  $M_Z$ . Contrairement au cas des gauginos, aucune hypothèse théorique spécifique n'est requise pour permettre que les  $\tilde{t}$  ou  $\tilde{b}$  soient dégénérés en masse avec la LSP. La largeur de désintégration du squark est proportionnelle à la différence de sa masse avec celle de la LSP ( $\Delta M$ ). Donc plus petite est cette différence, plus longue est la durée de vie du squark. On a ainsi à étudier les trois cas suivants :

- temps de vie court, le squark se désintègre en  $q$  (avec  $q=c, u$  dans le cas du  $\tilde{t}$  et  $q=b$  dans le cas du  $\tilde{b}$ );
- temps de vie plus long, mais le squark se désintègre encore dans le détecteur ; cela donne une trace dans la TPC avec une cassure de la trajectoire au moment où le squark se matérialise en  $q$  ;
- temps de vie long, c'est à dire que le squark apparaît comme une particule stable dans le détecteur.

Les premier et troisième cas ont été étudiés. Le cas quasi stable est en cours d'analyse.

Une machine  $e^+e^-$ , telle que le LEP, permet de rechercher plus aisément qu'en collisionneur hadronique le cas d'une particule supersymétrique quasi-dégénérée en masse avec la LSP. Dans ce cas en effet et si le temps de vie est très court, les événements sont caractérisés par une grande énergie manquante et très peu d'activité. Dans un environnement hadronique, la résolution en énergie manquante restreint l'efficacité de détection. De même l'hypothèse quasi stable requiert un

détecteur de traces très performant, condition plus facilement remplie en collisionneur  $e^+e^-$ . Si le temps de vie est très court, les fonds dominants sont les processus  $\gamma\gamma$ , deux et quatre fermions. Dans le cas stable, l'étude est basée sur la mesure du  $dE/dx$  dans la TPC.

Les données enregistrées entre 1998 et 2000, correspondant à une luminosité intégrée de  $600 \text{ pb}^{-1}$  et une énergie dans le centre de masse de 189 à 208 GeV ont servi à ces analyses. Aucun excès n'a été mis en évidence. Dans le cas stable la limite sur la masse du  $\tilde{t}$  a été ainsi fixée à 96 GeV et pour le  $\tilde{b}$  à 89 GeV, indépendamment de l'angle de mélange. Si le temps de vie est très court, la limite pour le  $\tilde{t}$  est de 71 GeV pour une différence en masse avec la LSP d'au moins 2 GeV et pour le  $\tilde{b}$  de 76 GeV pour une différence en masse avec la LSP d'au moins 7 GeV.

Le LEP a donc permis, dans cette analyse, de pousser de manière unique la limite sur la recherche du  $\tilde{t}$  et du  $\tilde{b}$ , dans des zones de différence de masse avec la LSP de l'ordre de quelques GeV seulement. On couvre ainsi pratiquement tout l'espace  $[M(\tilde{t}, \tilde{b}), M(\chi^0)]$ , accessible au LEP et ce quel que soit le temps de vie du  $\tilde{t}$  ou du  $\tilde{b}$ .

### Physique $\gamma\gamma$

Un des buts fondamentaux de la physique photon-photon est de comprendre et de décrire la structure hadronique du photon réel ou virtuel, ceci tout en traitant correctement l'état final, et donc d'obtenir une description complète de la production de multihadrons dans les collisions photon-photon valable à toutes les énergies.

Schématiquement, les analyses principales concernent donc :

- l'étude des interactions de photons antiétiquetés, où la statistique

est la plus élevée, et où il est possible par l'intermédiaire de la diffusion dure des constituants partoniques du photon, d'être sensible aux densités de quarks et de gluons dans le photon.

- l'étude des interactions de photons étiquetés à grands  $Q^2$ , pour la mesure de la fonction de structure  $F_2^\gamma(x, Q^2)$  et donc de la densité de quarks dans un photon quasi-réel.

- l'étude des interactions de photons simplement et doublement étiquetés à très bas  $Q^2$  par le VSAT pour accéder directement à la section efficace totale  $\gamma\gamma$  et pouvoir en séparer les diverses composantes en utilisant l'énergie des électrons et positrons mesurés.

- l'étude déjà publiée sur les corrélations azimutales dans la production de paires de  $\mu$  étiquetées, qui permet de tester QED et, au passage, le bon fonctionnement des calorimètres vers l'avant.

Nous avons d'autre part collaboré avec nos collègues de Protvino à la mesure de la production de charme dans les collisions  $\gamma\gamma$  non étiquetées.

La finalisation de l'étude des processus exclusifs en particulier  $\gamma\gamma \rightarrow \pi\pi$ ,  $KK$  utilisant un générateur « maison » GAMEX, est en cours avec nos collègues de Varsovie.

Fin 2001, une simulation de très haute statistique d'événements  $\gamma\gamma$  a été entreprise au laboratoire, afin de déterminer les erreurs statistiques et systématiques de toutes les analyses en cours. D'autre part la mesure de la section efficace totale, demandant une quantité importante de simulation non biaisée, a pu démarrer.

Les différentes études ont été présentées aux conférences PHOTON 2000 et PHOTON 2001.

Un accord récent entre l'IN2P3 et le groupe DELPHI de Prague va nous permettre de finaliser l'ana-

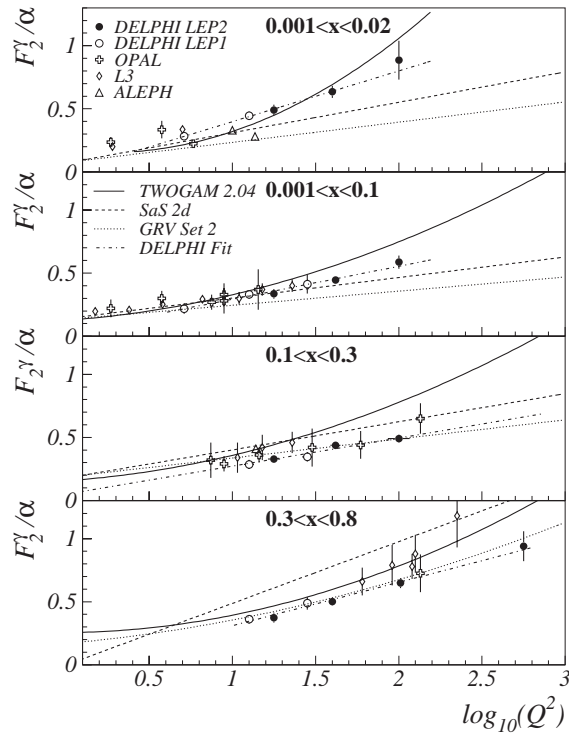


Figure 3 : les mesures de la fonction de structure du photon  $F_2^\gamma$  par les expériences LEP, représentées en fonction du moment de transfert  $Q^2$  pour différents domaines de  $x$  et comparées à différentes paramétrisations.

lyse de la production de jets à grand moment transverse et de préciser les désaccords expérience-théorie dans la production de quarks  $b$  dans les collisions photon-photon.

### M.Baubillier

J. Abdallah, J.-E. Augustin,  
M. Berggren, W. Da Silva,  
F. Kapusta, A. Savoy-Navarro.





## Physique au LHC : Atlas

Les expériences auprès du futur collisionneur LHC du CERN vont permettre d'explorer de nombreux domaines de la physique des particules pour une énergie dans le centre de masse de 14 TeV, encore jamais atteinte par un accélérateur. ATLAS, ainsi que son expérience sœur CMS, ont été conçues afin d'aborder un large éventail de sujets, allant de la physique du quark top, l'étude de paires de bosons W ou Z à la recherche du boson de Higgs et de la Supersymétrie ou de phénomènes plus exotiques encore, comme l'existence de dimensions supplémentaires.

Actuellement, la collaboration ATLAS est passée à la phase de construction du détecteur. Auparavant plusieurs années ont été consacrées à la recherche et au développement, puis à la validation des solutions retenues pour répondre aux défis posés, entre autres, par la complexité du détecteur, le fort taux de radiation auquel il sera soumis et la nécessité de réduire le plus possible la quantité de matière morte. La calorimétrie tient un rôle important dans la plupart des analyses de physique, tant du point de vue de la mesure de l'énergie déposée par les particules individuelles et de leur identification que du point de vue de la mesure du flot d'énergie total à travers le détecteur.



Figure 1 : module de série du calorimètre électromagnétique à Argon liquide lors de son insertion dans le cryostat utilisé pour les tests en faisceaux.

Le LPNHE est impliqué dans la réalisation du calorimètre électromagnétique du détecteur ATLAS, qui est un calorimètre à échantillonnage en plomb et argon liquide empilés en « accordéon ». Pour certains des éléments du calorimètre, les années 2000 et 2001 auront marqué le passage à la production en série (absorbeurs, électrodes), d'autres sont encore en phase de validation des solutions techniques choisies (électronique « Front-End »). Huit modules du calorimètre, représentant chacun un trente-deuxième du détecteur final, ont été construits et deux d'entre eux ont été étudiés en faisceau test en 2001.

## Électronique

Les signaux issus des cellules du calorimètre sont stockés dans les cartes d'acquisition (« Front-End Boards ») puis extraits par liaison optique vers les cartes de lecture (« Read-Out Crate ») après une sélection du système de déclenchement. Les cartes d'acquisition et autres modules du châssis « Front-End » peuvent être configurés depuis la salle de contrôle par l'intermédiaire d'un lien série lié à la carte de contrôle du châssis, qui distribue également l'horloge 40 MHz du LHC et les décisions du système de déclenchement. Le rôle du laboratoire est de fabriquer la carte de contrôle du châssis « Front-End » et de mettre en œuvre le protocole de communication série (SPAC - Serial Protocol for the Atlas Calorimeter). Un prototype de la carte de contrôle du châssis « Front-End » implémentant la communication série et la distribution d'horloge a été testé avec succès en faisceau au cours de l'été 2000.

La mise en œuvre du protocole SPAC a nécessité le développement d'un circuit intégré (ASIC) SPAC-SLAVE situé dans chaque carte du châssis « Front-End ». Les SPAC-SLAVES ont d'abord été développés avec des composants logiques programmables, avant que ne soient produits durant les années 2000 et 2001 les prototypes de leur version définitive, qui sont des circuits intégrés résistants aux radiations (technologie DMILL). En 2000 un premier prototype a été testé avec succès, mais le besoin exprimé par la collaboration, de fonctionnalités supplémentaires, ainsi que la nécessité d'améliorer la tolérance aux effets transitoires induits par les radiations, ont rendu nécessaire une modification du circuit. Fin 2001 la production d'une pré-série de la version définitive a été lancée; il reste à

la qualifier sous irradiation par un faisceau de protons, ce qui est prévu pour mi-2002.

Enfin, le groupe a effectué une étude de faisabilité du refroidissement par air des cartes « Read-Out Driver », moins complexe que le refroidissement par eau initialement proposé.

## Qualification des électrodes

La particularité des électrodes en cuivre et polyimide utilisées dans le calorimètre électromagnétique d'ATLAS est leur taille ainsi que leur pliage en forme « accordéon ». Le LPNHE a participé à la conception et à la validation de ces électrodes, en collaboration avec le CERN et le LAPP. Depuis le début de la production en série des électrodes, le laboratoire participe à leurs tests électriques, qui reposent sur la nécessité de qualifier le produit à la sortie de l'entreprise (avant pliage des électrodes) ainsi que d'en vérifier la qualité avant l'assemblage des modules du calorimètre (après pliage). Deux types de tests sont effectués: des tests de tenue en haute tension (HT) et des mesures de résistances et de capacités (RC). A cet effet deux bancs test, HT et RC, ont été construits au laboratoire pour contrôler la moitié des électrodes « baril » pliées, ainsi que deux autres bancs RC et HT pour contrôler les électrodes « bouchons », et enfin un banc test RC pour les électrodes plates (« baril » et « bouchons »). Les tests des électrodes pliées de type A ainsi que leur finition en vue du montage (soudure des ressorts de masse et montage des espaceurs) sont effectués au laboratoire, dans une salle spécialement aménagée afin d'obtenir un environnement « propre ». La moitié des électrodes de série dont le laboratoire a la charge avaient été testées, équipées et envoyées dans les centres de montage à la fin de 2001. La fin de ce travail devrait intervenir début 2003.

Le LPNHE a également suivi pour partie la production des électrodes dans l'industrie, en assurant une présence intensive d'un ingénieur pour aider l'entreprise (CICOREL) à utiliser les bancs de test, mais aussi pour lui fournir en permanence un retour rapide d'information sur la qualité du produit fini.

#### Métrologie des absorbeurs

Les absorbeurs sont constitués d'un sandwich de plomb, d'acier inoxydable, de fibres de verre imprégnées de colle, le tout plié en accordéon. Un contrôle précis de ces éléments est indispensable pour assurer une bonne homogénéité de la réponse du calorimètre (terme constant de la résolution en énergie inférieur à 1 %). La métrologie des plaques de plomb et des absorbeurs du calorimètre a été effectuée d'une part par une radiographie de toutes les plaques directement chez le producteur, d'autre part grâce à un contrôle par ultrasons durant la construction, à l'aide d'une table de mesure conçue et réalisée par le laboratoire. Les résultats de ces contrôles sont utilisés pour déterminer le placement des plaques de plomb dans le détecteur, de manière à assurer une réponse aussi homogène que possible. A la fin de 2001, 70 % du total du détecteur avait été ainsi préparé pour le pliage sous forme d'absorbeurs, soit 23 modules sur 32, et le terme constant dû aux inhomogénéités du plomb a été limité à moins de 0.3 % pour chacun des modules.

Après pliage et assemblage des différents éléments constituant un absorbeur, celui-ci est ensuite contrôlé. Les absorbeurs de 17 modules ont été contrôlés sur machine de mesure tridimensionnelle et ces mesures ont permis de s'assurer de la stabilité de la chaîne de production.

#### Intégration

Le laboratoire s'est engagé début 1999 dans une activité de CAO mécanique pour l'intégration du calorimètre. Le but est de s'assurer de la cohérence des scénarios de montage, de vérifier que l'espace alloué et les infrastructures techniques sont compatibles avec le montage des détecteurs et leur intégration dans les cryostats. Cette étude a débouché sur la conception des salles propres nécessaires au montage des détecteurs, qui ont été réalisées par le CERN en 2000 et 2001. Au cours de l'année 2000, le laboratoire a repris la conception de la table d'assemblage du détecteur électromagnétique « bouchon » ainsi que l'étude du bâti d'insertion du « baril », études terminées fin 2001, pour une livraison au CERN prévue mi-2002. Enfin, plusieurs outillages destinés au cryostat baril (pieds, parois de protection, supports de couvercles et enceintes chaudes et froides) ont été conçus et réalisés.

#### Tests en faisceau

Les tests en faisceau des modules de série ont eu lieu au CERN en 2000 et en 2001. La mesure de la diaphonie dans les électrodes du baril a été prise en charge par le groupe du laboratoire. Pour chaque module testé, une cartographie détaillée de la diaphonie a été produite, dont la part résistive a pu être corrélée avec les mesures de résistance obtenues sur les bancs test.

L'ensemble des mesures permet la qualification des modules de série pour ce qui est de la diaphonie.

Un autre aspect des analyses effectuées sur les données du test en faisceau consiste en l'étude fine de la réponse du détecteur aux  $\mu$  (rapport signal sur bruit, uniformité, diaphonie, modulation spatiale, etc.), qui apportent des informa-

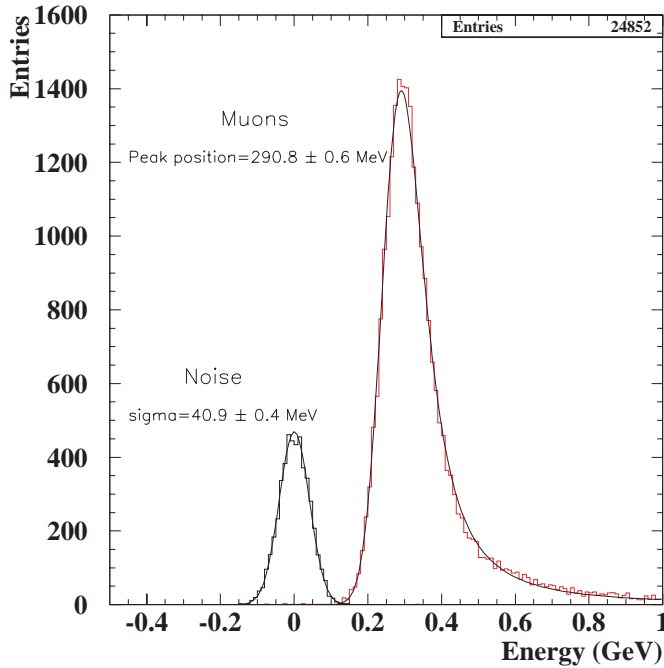


Figure 2 : signal de  $\mu$  comparé à la distribution de bruit vu dans un module du calorimètre lors des tests en faisceau.

tions complémentaires et parfois plus simples à interpréter que celles apportées par les électrons.

#### Base de données de production

Pour assurer le suivi des électrodes et l'échange d'informations sur l'empilage des modules, le groupe du laboratoire a pris en 1999 la responsabilité de la base de données de production du calorimètre à argon liquide. La base de données a été mise en place en collaboration avec le groupe support Oracle du CERN; actuellement son développement et sa maintenance sont assurés par un ingénieur du laboratoire. Cette base de données est rapidement devenue un outil reconnu et apprécié par la collaboration.

#### Analyses de physique

Avec le développement de modèles phénoménologiques à partir des théories des cordes, la recherche de dimensions supplémentaires est devenue un domaine en pleine effervescence. Au sein d'un groupe de travail d'expérimentateurs et de théoriciens, une étude en vue de

décélérer une unification des couplages à basse énergie (celle du LHC) est actuellement en cours. Cette unification pourrait en effet se produire à une échelle d'énergie plus basse que dans le MSSM s'il existe des dimensions supplémentaires, et la signature de cette unification peut être recherchée dans un excès éventuel de la valeur de la section efficace de production d'événements di-jets à très haute impulsion transverse par rapport à celle attendue dans le Modèle Standard. A l'aide de la simulation et des programmes de reconstruction d'ATLAS, nous développons une stratégie expérimentale.

Par ailleurs, l'expérience acquise sur la reconstruction des muons dans le calorimètre sera mise à profit dans les mois à venir pour étudier les capacités d'ATLAS à détecter des particules à longue durée de vie, ne se désintégrant que dans le calorimètre.

A plus long terme, la fin des productions d'électrodes et d'absorbours en 2003 permettra au groupe d'entamer une activité d'analyse dans les domaines de la physique du Modèle Standard.

#### Ph. Schwemling

A. Camard, S. Ferrag, F. Hubaut, W. Krasny, D. Lacour, B. Laforge.

#### Mécanique:

W. Bertoli, B. Canton, A. Commerçon, D. Laporte, Ph. Etienne, D. Imbault, Ph. Laloux, Ph. Repain, D. Steyaert.

#### Électronique:

M.M. Cloarec, M. Dhellot, A. Guimard, O. Le Dortz, D. Martin, J.-M. Parraud, F. Rossel.

#### Informatique:

F. Astesan.

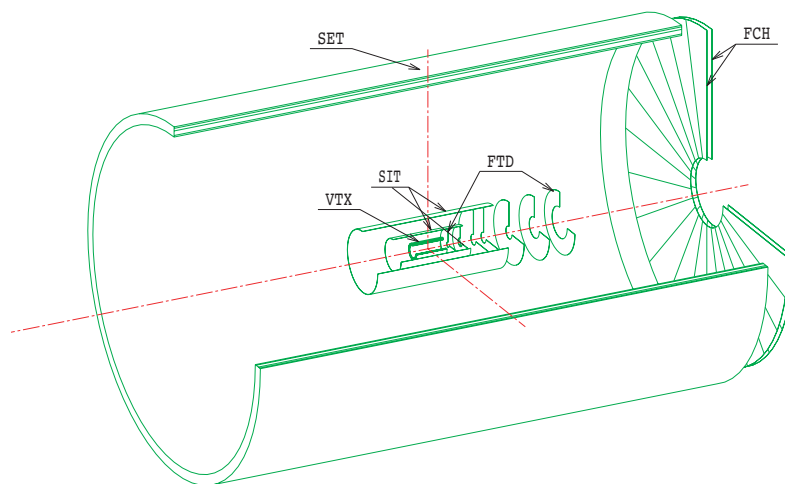
# Futur collisionneur linéaire à électrons : TESLA

Le projet d'un collisionneur linéaire avec une énergie dans le centre de masse voisine du TeV fait l'objet d'une intense activité de recherche et développement depuis nombre d'années, au CERN (CLIC pouvant même aller à une énergie de quelques TeV) à DESY (TESLA), au KEK (JLC) et au SLAC (NLC) avec la collaboration de laboratoires français tels que l'IPN et le LAL d'Orsay au sein de l'IN2P3 et le DAPNIA au CEA.

Ces dernières années ces projets ont fait d'importantes avancées: notamment, le projet TESLA à DESY lancé par B. Wiik, a abouti à une proposition réaliste pour un collisionneur linéaire capable de couvrir une gamme en énergie dans le centre de masse de 90 à 800 GeV.

L'année 2001 a vu, en outre, les différentes communautés de Hautes Énergies d'Asie (ACFA) d'Europe (ECFA) et des USA (HEPAP) converger sur un collisionneur linéaire comme prochain pas, complémentaire et compétitif avec le LHC.

En parallèle se sont développées des études sur les domaines de physique à explorer grâce à cette machine, sa complémentarité avec le LHC en particulier dans la physique du top, du boson de Higgs, de la recherche de particules supersymétriques et aussi dans la poursuite des mesures de précision du Modèle Standard (option GigaZ). Les détecteurs capables de rechercher cette physique ont été étudiés. Cela a abouti



LPNHE Paris - 01/04/2002

Figure 1: schéma du système de mesure des traces à silicium, avec le détecteur à traces externes (Silicon External Tracker- SET) et interne (Silicon Internal Tracker, SIT), le détecteur à microvertex (VTX) et les détecteurs de traces à l'avant (Forward Track Detector – FTD et Forward Chamber- FCH).

au TDR TESLA auquel certains physiciens du laboratoire ont contribué.

Depuis la fin du LEP, un groupe s'est formé au LPNHE qui participe à la formation d'une collaboration internationale dont le but est l'étude et la construction du détecteur capable de fonctionner auprès de ce futur collisionneur.

L'intérêt du groupe s'est porté sur les détecteurs à microbandes de silicium, pour leur apport complémentaire à l'ensemble du système de détection des traces d'une part, et à la calorimétrie à haute granularité à silicium-tungstène pour la mesure du flot d'énergie d'autre part.

Il a proposé en ce sens, un détecteur à trois couches de silicium, placé

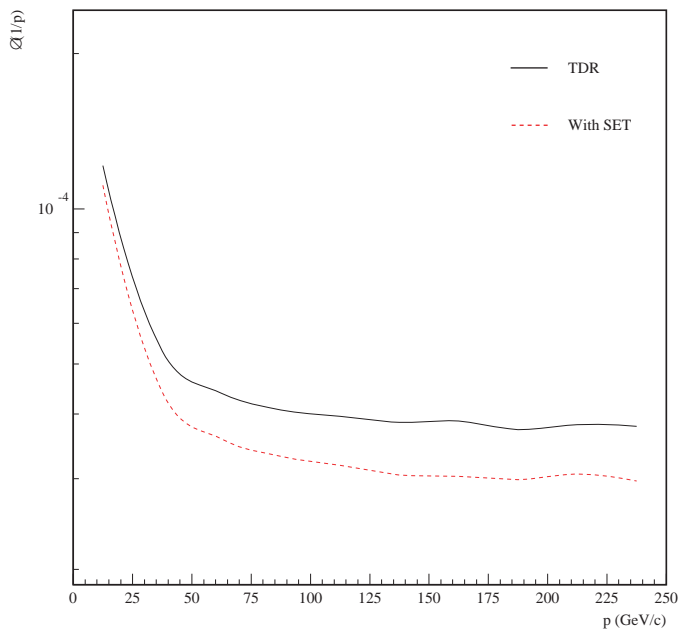


Figure 2 : résolution de la mesure de l'impulsions des traces  $\Delta p/p$  pour un design du système de mesure de traces proposé dans le TDR et après l'adjonction d'un détecteur de silicium externe.

entre la TPC et la calorimétrie électro-magnétique, le SET (Silicon External Tracker).

Ce détecteur devrait assurer une amélioration de 10 à 20 % de la mesure de l'impulsion, comme le montre l'étude par simulation. Il donne en outre le segment d'entrée des traces au calorimètre et permet un système simple d'alignement de la TPC. Avec le détecteur à microvertex (VTX) à 5 couches et son pendant interne, le SIT (Silicon Internal Tracker) situé entre le microvertex et la TPC, il constitue un système de détection des traces entièrement autonome en silicium. Avec un détecteur de traces de grand rapidité (FCH) de même technologie, comme nous le proposons également, cela forme une enveloppe en Silicium autour de la TPC qui permet une détection et une mesure des traces entre  $7^\circ$  et  $90^\circ$  et qui assure une redondance précieuse.

Nos études en mécanique portent sur le design et les matériaux du support, le refroidissement ainsi que les

études thermiques associées et le calcul de déformés. En électronique nous nous intéressons à la lecture du signal à l'avant, à la numérisation du signal et à sa sortie du détecteur vers l'électronique de lecture ainsi qu'à la logique de déclenchement globale. Enfin nous étudions le détecteur en silicium lui-même et ses caractéristiques propres telles que l'utilisation de raquettes longues comme dans les expériences AMS et GLAST.

Des études complémentaires sont faites par simulation afin d'optimiser la géométrie et les performances de ce système. Elles sont basées sur l'utilisation d'un programme de simulation rapide, SGV (Simulation à Grande Vitesse, développé dans le cadre du LEP et adapté à cette nouvelle machine) et des programmes de simulation détaillée, BRAHMS et MOKKA basés sur GEANT 3 et 4.

Le développement d'une collaboration internationale sur le sujet est en cours.

D'autre part la possibilité d'une option photon/photon a été développée au sein du groupe. Dans le cadre du PLC (Photon Linear Collider) des contributions à la détermination de la zone d'interaction pour la mesure de la luminosité et l'estimation des bruits de fond associés aux différents processus physiques de référence choisis sont actuellement étudiés. Pour la première fois, une simulation de la production de 4 leptons a ainsi vu le jour.

#### Aurore Savoy-Navarro

J.-E. Augustin, M. Baubillier,  
M. Berggren, C. Carimalo,  
W. Da Silva, F. Kapusta.

#### Électronique :

H. Lebbolo, F. Rossel.

#### Mécanique :

B. Canton, D. Imbault, D. Vincent.

# Rayons cosmiques d'énergies extrêmes : Observatoire Pierre Auger

L'Observatoire Pierre Auger est un détecteur de rayons cosmiques destiné à explorer un domaine de l'astrophysique dont la compréhension échappe à la communauté scientifique depuis plusieurs décennies, à savoir l'extrémité du spectre d'énergie.

Il a été conçu et optimisé pour ce domaine d'énergie (au-dessus de  $10^{19}$  eV) mais son seuil de détection peut descendre jusqu'à  $10^{17}$  eV pour certains types d'événements. C'est actuellement le seul détecteur de rayons cosmiques basé sur le principe de détection « hybride » des gerbes atmosphériques.

De nombreuses questions demeurent au sujet des rayons cosmiques d'énergie extrême, auxquelles l'expérience Auger va tenter de répondre. De quoi sont-ils faits ? Protons, noyaux, photons, qui ne peuvent venir que de notre amas local de galaxies ? Neutrinos, objets encore inconnus, qui donneraient des gerbes atmosphériques analogues ? Que sont leurs sources ? ponctuelles ou diffuses, corrélées à notre Galaxie ou à des sites astrophysiques violents comme les noyaux actifs de galaxies ? Éphémères ou durables ? Des reliques du Big Bang ? Quel est l'effet des déviations magnétiques sur leur parcours ? Beaucoup de possibilités sont envisagées, aucune n'explique les observations actuelles de façon



Figure 1 : Une des cuves Cerenkov en situation dans la Pampa argentine.

complètement convaincante.

Depuis 1999, le CNRS a fait de l'Observatoire un projet interdépartemental (SPM, PNC-IN2P3, INSU). Cette coopération interdisciplinaire a permis à des équipes françaises d'occuper dans cette expérience une place de premier plan. Durant la période de développement du projet, une étroite collaboration a associé l'ENST (SPI) à la conception du réseau de télécommunications de l'expérience. Enfin des contacts suivis ont été établis avec les théoriciens et astrophysiciens (INSU et SPM), avec en particulier un groupe de l'IAP. Le projet Auger a été à ce titre à l'origine de la création du programme national « Astroparticules » du CNRS.

La construction du détecteur a démarré dans la province de Mendoza (Argentine) en 2000 et se poursuivra jusqu'à la fin de 2004. Un site de l'Observatoire Auger est



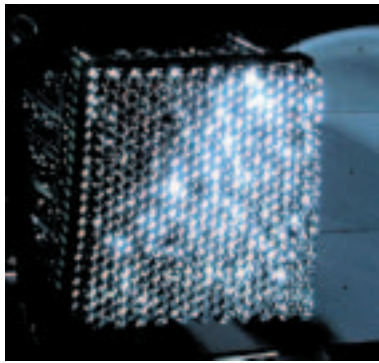


Figure 2 : photomultiplicateurs formant la caméra d'une télescope à fluorescence. L'assemblage rappelle les facettes de l'œil d'une mouche.

composé tout d'abord d'un réseau de 1 600 stations détectrices (SD), essentiellement des cuves de 12 m<sup>3</sup> dans lesquelles les particules secondaires des gerbes atmosphériques créées par les rayons cosmiques sont détectées par leur rayonnement Cerenkov dans l'eau. Ces stations sont positionnées suivant un maillage aussi régulier que possible (espacement de 1,5 km) sur une superficie de 3 000 km<sup>2</sup>. Sur le pourtour du site sont placés trois détecteurs à fluorescence (DF) composés d'ensembles de miroirs et caméras (matrices de phototubes). L'emplacement définitif d'un 4<sup>e</sup> détecteur sera fixé de manière à couvrir la totalité de la surface du réseau et avoir un maximum de recouvrement avec les autres pour optimiser la reconstruction stéréoscopique des gerbes.

La construction de l'Observatoire Auger complet (un site dans chaque hémisphère) est prévue en trois phases. La première est achevée. Elle avait pour but de construire un réseau prototype (40 SD couvrant environ 50 km<sup>2</sup> et deux télescopes) destiné à tester l'ensemble des options techniques, roder les systèmes de communication et d'acquisition, mettre au point les méthodes d'analyse. Pour augmenter le taux de déclenchement de gerbes de basse énergie, une zone centrale du réseau a été « densifiée » par l'ajout de trois cuves rapprochées. Les grandes étapes de la Phase I ont été :

- février 2000 : installation de la première station détectrice.
- décembre 2000 : achèvement du 1<sup>er</sup> bâtiment de fluorescence (Los Leones).
- janvier 2001 : les télécommunications (liaisons micro-ondes) entre le 1<sup>er</sup> collecteur (Los Leones) et le « Campus » sont établies.
- février 2001 : la 1<sup>re</sup> « conversation »

entre une cuve et le CDAS (système d'acquisition central); démarrage du transfert de données au monde extérieur par liaison satellite.

- mars 2001 : le réseau de 40 cuves est complet.
- avril 2001 : la 1<sup>re</sup> gerbe observée par le DF de Los Leones ; le hall d'assemblage est terminé.
- juin 2001 : le premier événement à 3 stations est enregistré.
- août 2001 : le bâtiment central (Campus) est achevé.
- décembre 2001 : le premier événement hybride.

Depuis lors, le réseau prototype de la phase I fonctionne de façon stable. A ce jour, près d'une centaine d'événements hybrides ont été enregistrés. Les télescopes définitifs sont en cours d'installation à Los Leones, et la construction du 2<sup>e</sup> bâtiment de fluorescence (Cohiueco) a pu débuter.

La phase II, étalée sur deux à trois ans à partir de fin 2002, conduira à la construction complète du détecteur sud. Il est à noter que la modularité du détecteur nous permet d'accumuler les données pour la physique dès le début de la construction (mais à un taux proportionnel à la taille du réseau). L'incertitude sur la durée de cette phase est essentiellement liée au rythme du financement de la construction.

La dernière phase sera la construction d'un observatoire dans l'hémisphère Nord, aussi identique que possible au premier, si les résultats obtenus avec celui-ci le justifient.

Les physiciens et ingénieurs français apportent des contributions variées et importantes à la construction de l'Observatoire : électronique et monitoring pour le réseau au sol, réseau de télécommunications, système de synchronisation par GPS, acquisition locale des cuves, acquisition centrale et déclenchement

global (sous la responsabilité du LPNHE), centre européen de distribution et de traitement des données (au CCIN2P3 de Lyon), logiciels de simulation et de reconstruction des gerbes atmosphériques (contribution importante du LPNHE).

Les physiciens du laboratoire ont été particulièrement actifs dans l'exploration des thèmes de physique mis en jeu, notamment la caractérisation des composantes « exotiques » (photons et neutrinos) qui apporteraient la signature d'un mécanisme « top-down » de production, à partir d'hypothétiques objets ultra massifs. L'existence vraisemblable d'oscillations de neutrinos rend ce thème particulièrement brûlant, car les neutrinos tauiques d'énergie extrême pourraient être détectés (ou exclus) dans un avenir proche, apportant des contraintes importantes aux modèles théoriques. Grâce à notre effort d'études sur des simulations et de la diffusion de nos résultats, l'Observatoire Auger est maintenant reconnu, outre sa finalité principale, comme un détecteur de photons et de neutrinos, unique dans sa gamme d'énergie.

Le réseau prototype a demandé en 2001 une activité d'installation sur le site pour le système d'acquisition et les télécommunications, ainsi qu'un transfert de compétences pour qu'un nombre croissant de personnes dans la Collaboration puissent le faire fonctionner. Des membres du laboratoire ont aussi prêté main-forte pour l'équipement et le test des cuves au fur et à mesure de leur déploiement.

Depuis l'été 2001, une activité d'analyse des premières données s'est développée sur le site et à distance : étalonnage des signaux des cuves grâce au bruit de fond cosmique ; adaptation des algorithmes d'acquisition et de déclenchement ;



Figure 3 : le bâtiment central abrite les bureaux et le système central de déclenchement et d'acquisition.

synchronisme des horloges locales ; isolation des signaux corrélés de gerbes par rapport au fond combinatoire ; caractérisation de leur forme ; estimateurs de l'énergie. D'ores et déjà nous avons montré qu'il était possible d'extraire sans ambiguïté les événements physiques.

Par ailleurs l'observation d'événements hybrides a validé le concept de base de l'Observatoire, et ouvert la voie à une reconstruction plus précise de la direction et de l'énergie, ainsi qu'à la calibration croisée des deux composantes qui doit éliminer la plupart des erreurs systématiques dont chacune peut être entachée. Celles-ci restent à ce jour un obstacle majeur à la compréhension du spectre à ultra-haute énergie.



Figure 4 : le hangar où les piscines sont préparées avant d'être installées.

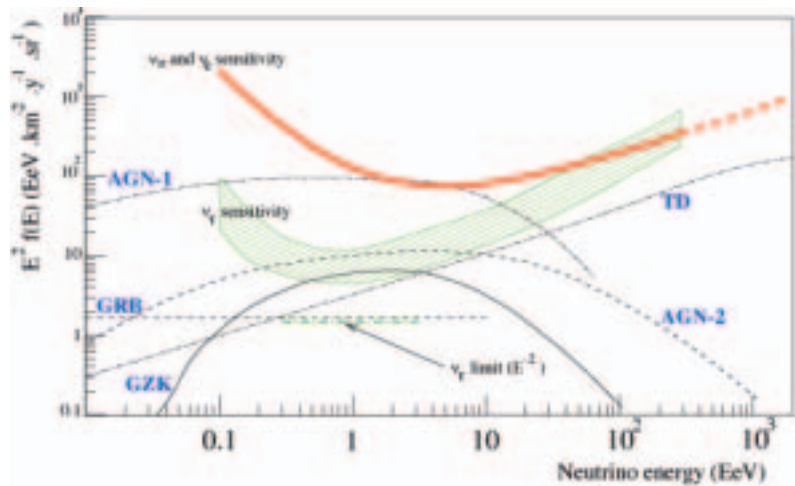


Figure 5 : la sensibilité de l'observatoire pour la détection de neutrino tau en fait l'égal des projets de télescopes à neutrino les plus sensibles tel IceCube.

Après l'exploitation du réseau prototype avec une centaine de gerbes par mois au voisinage du seuil et la complétion du site sud, nous devrions, d'ici trois ans, commencer à apporter des réponses décisives aux questions restées si longtemps en suspens. A n'en pas douter, une nouvelle page de la physique et de l'astrophysique s'ouvrira.

#### A. Letessier-Selvon

X. Bertou, P. Billoir, M. Boratav,  
S. Dagoret-Campagne, P. Da Silva,  
O. Deligny, C. Lachaud.

#### Équipe technique :

A. Castera, J.-L. Gorrard.

# Cosmologie avec les Supernovae Ia

La mesure du diagramme de Hubble des supernovae Ia permet aujourd'hui d'accéder à l'histoire de l'expansion de l'univers jusqu'à des décalages vers le rouge de l'ordre de 1, en utilisant la reproductibilité empiriquement constatée de ces objets. Cette approche de la cosmologie observationnelle a permis la mise en évidence d'une « énergie sombre », constituant aujourd'hui de l'ordre des 2/3 de l'énergie de l'univers, responsable d'une accélération de l'expansion. Depuis ces premières indications (âprement discutées) la mesure de la courbure par les anisotropies du CMB, et les estimations du contenu de matière utilisant les amas de galaxies ou les effets de lentilles faibles sont venus confirmer ce résultat inattendu. Le panorama de la cosmologie s'est alors enrichi d'une nouvelle inconnue : la nature de cette « énergie sombre » que l'on caractérise par son équation d'état. Ce paramètre décrit l'évolution de la densité avec le décalage vers le rouge (ou le temps) : l'équation d'état d'une densité indépendante de l'expansion, à l'instar de la constante cosmologique vaut  $-1$ . Les observations disponibles privilégient une valeur autour de  $-1$ , loin de 0 qui caractérise la matière. Les mesures du diagramme de

Hubble des supernovae Ia consistent schématiquement à comparer le flux des supernovae lointaines au flux de supernovae proches, dans la même bande spectrale dans le repère de la supernova. C'est l'hypothèse qu'il s'agit des mêmes objets qui permet de déduire la distance de l'objet lointain, à un facteur global inconnu près. C'est l'évolution de cette distance avec le décalage vers le rouge qui encode la cosmologie et donc les densités d'énergie et leurs évolutions.

## Les recherches à grand décalage vers le rouge

Les échantillons de SN Ia distantes ayant originellement indiqué l'accélération de l'expansion de l'univers sont à des décalages vers le rouge  $z$  de l'ordre de 0,4 à 0,7. Aller à des  $z$  plus élevés augmente la sensibilité aux paramètres cosmologiques pour chaque objet mesuré, mais aussi permet de distinguer des effets systématiques liés aux observations de la cosmologie elle-même.

Aujourd'hui, mesurer des supernovae lointaines est une opération complexe et hasardeuse : on commence par les chercher auprès de télescopes grand champ, par soustraction d'images prises à environ un mois d'écart. Les candidats détectés sont confirmés spectroscopiquement.

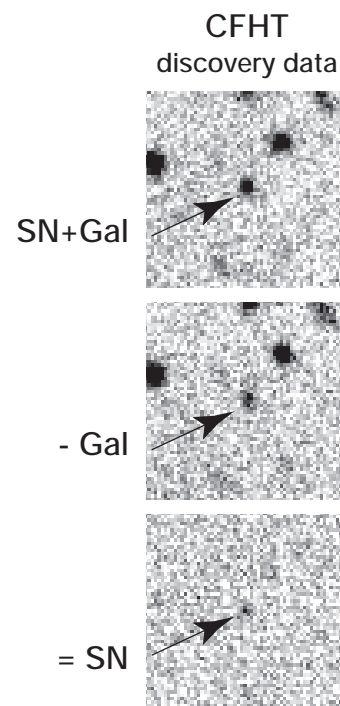


Figure 1 : illustration de la détection par soustraction d'images de la caméra cfh12k du TCFH : les images du milieu et du haut ont été prises les 29 mars et 17 avril 2001. Elles sont constituées chacune de 20 poses alignées et sommées. Sur la soustraction (en bas), nous détectons un objet avec un rapport signal sur bruit de 10. L'observation spectroscopique de cet objet l'identifiera comme supernova Ia à un décalage vers le rouge  $z = 1,12$ .

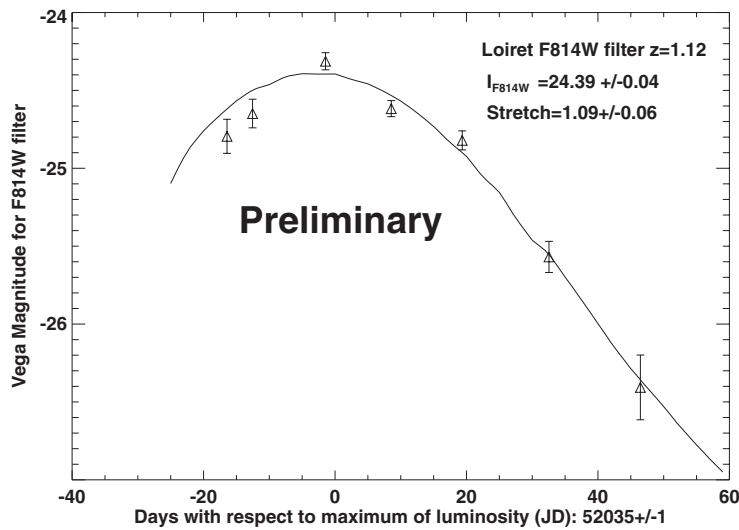


Figure 2 : courbe de lumière préliminaire de la supernova dont la figure 1 illustre la détection. Grâce au HST, on obtient une précision photométrique (et donc en distance) comparable à celle obtenue pour les supernovae proches.

piquement aussi rapidement que possible. Cette étape permet de mesurer leur  $z$ , en général à l'aide des raies de leur galaxie hôte. Les candidats confirmés sont suivis photométriquement pour mesurer leur courbe de lumière car le flux au pic indique essentiellement la distance. Il faut finalement obtenir une image profonde du champ sans la supernova (en général une ou plusieurs années après l'explosion) à soustraire de toutes ces images de photométrie.

Le temps d'observation à investir varie beaucoup avec  $z$  et les télescopes impliqués; la limite pratique se situe aujourd'hui à  $z=1,2$  qui nécessite de 2 à 4 heures de spectroscopie au Keck (10 m). Ces programmes sont particulièrement vulnérables au mauvais temps, car les observations non réalisées ne pourront en général l'être plus tard: on peut ainsi perdre l'usage d'observations antérieures.

Le groupe du LPNHE a mené depuis 1999 des campagnes de recherche de SN Ia lointaines ( $z > 0,8$ ) en utilisant l'imageur cfh12k du Télescope Canada France Hawaii (TCFH 3,6 m), dans le cadre de la collaboration

Supernova Cosmology Project (SCP) qui a permis d'assembler le lourd programme de suivi indispensable à la mesure. La campagne de 2001 a identifié environ 20 objets, dont le plus lointain est à  $z=1,12$ . Cette campagne a impliqué le TCFH, le Keck, le VLT (pour la spectroscopie et l'imagerie infrarouge) et le télescope spatial HST pour la photométrie optique de précision.

Notre groupe intervient dans le consortium via l'obtention du temps d'observation au TCFH, l'observation elle-même, et la réduction quasi en ligne des images pour la détection des candidats dont les spectres devront être obtenus. Nous avons pour cela développé une chaîne logicielle qui partant des données brutes, réalise l'ensemble des opérations jusqu'à la soustraction d'images où nous détectons et mesurons les flux et coordonnées sidérales des candidats. Nous réduisons les données au TCFH sur du matériel financé par l'IN2P3 et le Programme National de Cosmologie. L'efficacité de notre chaîne dépasse sensiblement celle des logiciels de première génération. Au printemps 2001, nous avons détecté une SN Ia à  $z=1,12$ , avant le maximum de la courbe de lumière, et à un rapport signal sur bruit de 10 sur la soustraction.

Ces développements d'algorithmes ont été réinvestis et étendus vers la mesure des courbes de lumière des objets à partir d'images de suivi photométrique, pour finalement estimer une distance aussi précise que possible. Là aussi, des améliorations significatives ont été obtenues, notamment dans un travail de thèse soutenue en septembre 2000. La démarche est étendue dans une thèse qui a débuté en 2001 aux images du télescope spatial (très différentes des images du sol, par

leur champ très petit et leur excellente résolution spatiale) pour produire une courbe de lumière préliminaire de SN2001gn à  $z=1,12$ .

### Le projet CFHTLS

Le TCFH s'est lancé depuis une dizaine d'années dans un programme d'imagerie grand champ dont le couronnement sera l'installation d'un imageur de 1 degré carré appelé Megacam, vers l'automne 2002. Cet instrument a été jugé suffisamment exceptionnel pour que les communautés canadiennes et françaises acceptent d'investir une centaine de nuits par an sur des programmes d'observation définis par l'ensemble de la communauté. C'est le projet CFHT Legacy Survey, aujourd'hui accepté, qui prévoit de consacrer environ 40 nuits par an à la mesure du diagramme de Hubble des SN Ia. La démarche observationnelle consiste à observer les mêmes champs tant qu'ils restent visibles, dans 4 bandes, pour détecter les objets variables et mesurer leur courbe de lumière dans les mêmes images. Nous avons simulé en détail les observations pour les optimiser et évaluer leurs potentialités: avec les quelques 700 SN Ia à  $0,3 < z < 0,9$  que l'on attend en 5 ans, le programme doit permettre de mesurer la valeur de  $w$  (l'équation d'état de l'énergie sombre) avec une incertitude de l'ordre de 10 %. Il n'est pas envisagé aujourd'hui d'autre approche expérimentale pour cette mesure.

Au sein du consortium français, rassemblant INSU et IN2P3, nous prenons en charge la détection en ligne des objets variables pour l'alerte, et la réduction photométrique finale à produire au CCIN2P3. Une collaboration européenne se monte pour obtenir le temps d'observation au VLT néces-

saire à l'identification des supernovae. Le début des observations est prévu au début 2003.

### Nearby SuperNova Factory

Bien que les supernovae soient aujourd'hui l'indicateur de distance le plus précis disponible, on ne comprend pas en détail les corrélations observées entre luminosité et autres observables, la forme de la courbe de lumière par exemple. L'obstacle majeur est tout simplement le manque de données, en particulier spectroscopiques: moins de 10 supernovae possèdent une série de plus de 5 spectres.

En déterminant avec précision l'évolution temporelle des spectres de supernovae, on peut contraindre fortement les conditions physiques de l'explosion et regrouper les supernovae ayant des conditions initiales proches et/ou ayant lieu dans un environnement galactique similaire.

On souhaite aujourd'hui améliorer la compréhension des supernovae, pour cerner les limites des mesures cosmologiques utilisant ces objets. On souhaite aussi améliorer les estimateurs de distance (ou les solidifier). Finalement, le diagramme de Hubble du CFHTLS a besoin d'objets proches nombreux et bien mesurés puisque c'est de la comparaison des objets distants et proches que l'on déduit la cosmologie.

Le but du projet « Nearby SuperNova Factory » (usine à supernovae proches) initié par le SCP, est d'acquérir quelques centaines d'objets proches dans les 4 à 5 années à venir, avec le même instrument, et de produire des séries spectrales. Le volume d'observations nécessaires rend ce but inaccessible dans le cadre des allocations de temps traditionnelles.

La France participe à ce projet en construisant un instrument optimisé

pour le suivi spectro-photométrique des supernovae: un spectrographe intégral de champ. Cet instrument permet d'obtenir simultanément et avec une très grande précision la spectrométrie et la photométrie de l'objet observé, contrairement aux spectrographes traditionnels à fente. Avec le groupe de l'Institut de Physique Nucléaire de Lyon, nous nous sommes associés à une équipe du Centre de Recherche Astronomique de Lyon (CRAL) experte dans la construction de spectromètres intégraux de champ, et ayant déjà mené à bien la réalisation de deux instruments de ce type. L'instrument envisagé ici travaillera dans un domaine spectral très large s'étendant de 3 200 à 10 000 Å. L'instrument sera monté en permanence sur un télescope de taille moyenne (2,2 m de l'Université d'Hawaï) et une à deux heures par nuit seront réservées pour ce programme. Il sera ainsi possible de suivre les objets dès leur détection.

Notre groupe a la responsabilité globale du projet en France et nous participons plus directement, au sein du consortium français (LPNHE, IPNL, CRAL) à l'étude et réalisation d'éléments de la mécanique et au développement des logiciels de lecture des détecteurs.

### Le projet SNAP

Le projet SNAP vise à la constitution d'un échantillon comprenant plusieurs milliers de SNe Ia à des décalages vers le rouge situés entre  $z=0,1$  et  $z=1,7$ . Pour atteindre des redshifts élevés avec une qualité d'observation suffisante, il est indispensable d'observer depuis l'espace. C'est aussi nécessaire pour limiter les effets systématiques au niveau impliqué par la statistique envisagée.

Cette expérience présente la parti-

cularité d'être directement sensible au terme d'énergie sombre et de pouvoir en déterminer la nature. On peut en particulier différencier l'effet d'une constante cosmologique de certaines alternatives telles les défauts topologiques ou la présence de champs scalaires. Les données jusqu'à  $z=1,5$  permettent même de déceler une éventuelle dépendance temporelle de l'équation d'état. Ces mesures auront un impact majeur aussi bien sur la compréhension de la physique des hautes énergies que sur la connaissance de l'univers primordial. La nature de cette énergie noire est inaccessible aux mesures des anisotropies du CMB, même à la précision de Planck. Pour les paramètres que ces deux approches mesurent, la comparaison des résultats constituera un test puissant des théories cosmologiques.

Le projet est dans une phase préparatoire. Nous travaillons à la mise en place d'une collaboration française IN2P3, INSU et CNES centrée sur la réalisation en France du spectrographe et nous développons au laboratoire une activité R & D sur l'électronique de lecture (spatialisation d'une chaîne électronique de lecture de CCD) en collaboration avec le Lawrence Berkeley Laboratory. Nous avons depuis la proposition travaillé sur les potentialités scientifiques de la mission, et publié deux articles. Nous participons, par ailleurs, aux développements des algorithmes de détection et de photométrie différentielle.

### R. Pain

P. Astier, E. Barrelet, S. Fabbro, M. Goliath, D. Hardin, J.-M. Lévy, J. Raux, G. Sainton, K. Schahmanèche, A. Secroun.

### Électronique

J.-F. Genat, R. Sefri.

### Mécanique

D. Imbault, P. Laloux, P. Repain, D. Vincent.

# Astronomie gamma des hautes énergies : CAT/HESS

---

L'astronomie gamma de haute énergie complète nos connaissances des sources d'émission des rayonnements galactiques et extra-galactiques au dessus de quelques dizaines de GeV jusqu'à plus d'une centaine de TeV. L'étude de l'ensemble du spectre d'émission, du visible jusqu'à ces énergies extrêmes, permet de comprendre les mécanismes de production et d'accélération des particules dans des sites tels que les supernovae ou les noyaux actifs de galaxies (AGN), galaxies renfermant en leur centre un trou noir dont l'activité engendre des jets de particules ultrarelativistes. Ce sont les rayons gammas émis par ces jets que nous détectons. Le caractère neutre des photons offre, en plus, l'avantage de localiser précisément leur origine. Le laboratoire, qui est engagé dans cet axe de recherche depuis la fin des années quatre-vingt, collabore actuellement à deux expériences. La première, le télescope CAT, est installée sur le site de Thémis dans les Pyrénées. Elle acquiert des données depuis 1996 et a étudié près d'une dizaine d'AGN et quatre restes de supernovae. Depuis 1997, le groupe est impliqué dans la construction d'une deuxième expérience : le réseau de télescopes HESS.

Après s'être consacré, pendant plusieurs années, à l'étude des AGNs avec le télescope CAT, le groupe s'oriente vers l'étude d'une autre source potentielle de production de ces photons. Certains modèles de la physique des hautes énergies prédisent l'existence de particules massives et interagissant faiblement. Les modèles supersymétriques prévoient l'existence d'une particule stable, le neutralino, qui constitue un bon candidat pour expliquer l'énigme de la matière manquante de l'Univers. Le groupe étudie les sites potentiels de production de photons issus de l'annihilation de neutralinos qui pourront être observés avec la sensibilité de l'expérience HESS.

La technique de reconstruction des rayonnements de haute énergie est basée sur la détection des photons Cherenkov émis par les particules chargées produites en très grande quantité lors de l'interaction des photons primaires dans l'atmosphère à une altitude avoisinant les treize kilomètres au dessus du niveau de la mer. Le groupe participe activement à l'étude des processus d'interaction des photons primaires. Il a développé l'une des trois simulations qui font référence au sein de la collaboration. Il travaille également, en association



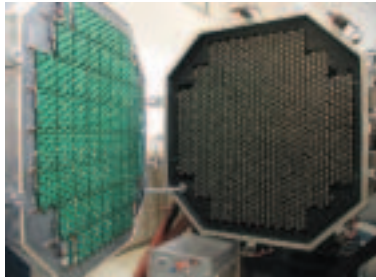


Figure 1: vue des 960 tubes photomultiplicateurs de la caméra. A gauche, un système de 960 LEDs positionnées sur une porte assure le calibrage des tubes.

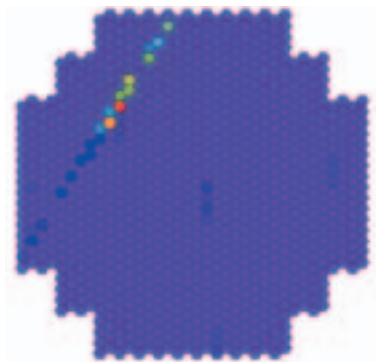


Figure 2: événement cosmique détecté par la caméra durant les derniers tests au laboratoire. Il s'agit d'un  $\mu$  traversant les photocathodes ou premières dynodes des photomultiplicateurs.

avec les groupes du LLR et du PCC à l'adaptation des méthodes d'analyse, développées pour le télescope CAT, à la stéréoscopie disponible dans un système multi-télescopes. Les dernières études permettent d'atteindre une résolution en énergie entre 20 et 15 % en multitélescope selon le filtrage effectué sur l'image.

## Hess

Le dispositif expérimental HESS consistera en un réseau de plus d'une dizaine de télescopes à effet Cherenkov. La première phase du projet, acceptée par l'IN2P3 fin 1998, est en cours de construction. Elle est constituée de quatre télescopes. Les trois premières montures, d'une hauteur totale d'environ 28 mètres, ont été installées au cours de l'année 2001 sur le site du Gamsberg en Namibie, à 1 800 mètres d'altitude dans une région quasi désertique, à 150 kilomètres de la capitale Windhoek. Le miroir de 108 m<sup>2</sup> de surface et de 15 m de focale est constitué de 382 petits miroirs de 60 cm de diamètre montés sur une structure Davis Cotton. Ils ont été installés et alignés la même année sur le premier télescope. Un système comprenant un laser et une caméra CCD permet l'ajustement de l'axe optique et l'alignement de tous les miroirs. La précision de guidage sidéral obtenue sur le site est de une seconde d'arc.

Le LPNHE a pris en charge la conception et la production de l'électronique ainsi que le système d'acquisition des caméras. Elles sont constituées de 960 photo-multiplicateurs (PM) chaque PM représente un pixel de 0,16° d'ouverture angulaire et l'ensemble de la caméra couvre un champ de vue de 5°. Les PM sont assemblés par groupes de seize dans

soixante tiroirs qui seront placés au plan focal, dans une structure alvéolaire. La modularité d'un tel système offre des avantages certains pour la maintenance des caméras en ce site éloigné. Chaque tiroir est équipé de deux cartes électroniques destinées au traitement et au stockage des signaux ainsi qu'au premier niveau de déclenchement de l'acquisition, et d'une carte pour le contrôle du tiroir et de son alimentation. Une imagerie fine et une électronique rapide sont les deux atouts majeurs des caméras de HESS qui permettront d'atteindre une sensibilité à des flux de 10<sup>-13</sup> photons/cm<sup>2</sup>/s.

Les tests des soixante cinq premiers tiroirs, qui se sont déroulés durant ces deux dernières années, nous ont permis de caractériser la réponse impulsionnelle des photo-tubes à un signal de photon unique. Cette connaissance est essentielle pour le suivi de la calibration du système. Nous avons vérifié la linéarité des mesures de charge sur toute la gamme dynamique s'étendant jusqu'à 1 600 photons ; nous avons caractérisé le bruit de l'électronique et mesuré l'influence du bruit de fond de ciel. Celui-ci a été simulé par l'utilisation d'une lumière blanche superposée à un signal laser pulsé. Il a été démontré que la dérive des piedestaux sous l'effet de cette lumière continue est parfaitement contrôlée et mesurable par l'utilisation de trois méthodes indépendantes : le suivi des échelles de comptage installées sur chacune des voies de l'électronique, la mesure des différentiels des courants d'anode ou des courants de haute tension appliquée aux PMs.

La première caméra, ensemble de deux mètres de long pour un mètre soixante de diamètre et d'un poids total de 800 kg, a été assemblée pendant l'année 2001. Le montage complet de la caméra au laboratoire per-

met de tester en grandeur nature toutes les fonctionnalités, avant l'installation en Namibie. Nous avons mis au point le contrôle des températures à l'aide de ventilateurs pilotés par des cartes électroniques dédiées. Par un éclairage de la caméra à l'aide de diodes nous pouvons tester la logique de déclenchement. Ceci permet aussi le contrôle des flux de données au niveau des registres d'entrées et sorties, de l'interface des deux bus d'acquisition (« custom-bus » et CPCI) et de l'interface avec le bus de données (« box bus »). L'acquisition d'événements cosmiques (muons traversant les photocathodes ou les premières dynodes) a permis de valider le câblage et la logique de déclenchement. Nous avons construit 194 cartes de 9 types différents, dont tous les pilotes ont été écrits au laboratoire. L'ensemble fonctionne sous Linux. Pour réaliser la mise au point de la première caméra, outre les programmes d'acquisition embarqués, le groupe a pris à sa charge une large partie des systèmes de réception et de stockage des données, la gestion des bases de données, le contrôle à distance des caméras ainsi que les outils d'analyse en ligne de la qualité des données. L'architecture de l'ensemble s'articule autour du système CORBA qui gère les communications entre les processus, et les interfaces graphiques sont écrites en Python/GTK. La programmation, en langage orienté objet, utilise le système ROOT développé au CERN pour la gestion et le stockage des données. Ce même système s'est généralisé, dans l'expérience, aux outils d'analyse et de simulation. Ces développements, en collaboration avec l'Université Humboldt de Berlin, seront installés et utilisés sur site. La première caméra sera installée en Namibie au printemps de l'année 2002.

## Cat

**D**epuis 1996, le télescope CAT (Cherenkov Array at Themis) est en fonctionnement sur le site de l'ancienne centrale solaire Thémis dans les Pyrénées Orientales. Il représente l'une des installations majeures en Astronomie gamma au sol au dessus de 250 GeV. Les années 2000-2001 ont permis de poursuivre le programme d'observation que nous avons défini. Après une dernière révision importante en juin 2000 sur les photomultiplicateurs de la caméra, le télescope fonctionne sans problèmes majeurs et nous donne entière satisfaction. Deux sortes de sources sont étudiées :

1. Les noyaux actifs de galaxie (AGN)

- MrK 501 : après une succession d'éruptions intenses en 1997, cette source est retombée dans un état plus calme, mais les campagnes d'observations synchrones avec les satellites se sont poursuivies.

- MrK 421 : c'est le deuxième AGN systématiquement étudié dans l'Hémisphère Nord. Une première période 1996-1999 avait montré une activité relativement faible. L'année 2000 a présenté une moyenne d'activité plus élevée avec quelques éruptions très intéressantes montrant des variations d'intensité sur des temps courts inférieurs à l'heure. Un simple raisonnement de causalité implique que la région émettrice des photons doit être très compacte, avec une dimension de l'ordre de 10 heures-lumière, si on choisit une valeur typique de 10 pour le facteur Doppler géométrique. Le profil du spectre en 2000 montre une indication de courbure, alors qu'il était bien représenté par une simple loi de puissance les années précédentes. Cette possible variabilité du

spectre demande une poursuite des observations pour aboutir à des conclusions claires.

- 1ES1426 : parmi la dizaine d'autres AGN observés, un seul présente une activité mesurable. Cette source se trouve à grand décalage vers le rouge ( $z=0,129$ ) alors que les deux sources précédentes sont à des décalages beaucoup plus faibles :  $z=0,034$  et  $z=0,031$ . Cette grande distance implique une absorption importante par les photons infrarouges intergalactiques et l'on s'attend à un flux faible avec un spectre mou.

Pour la recherche de cette nouvelle source nous n'avons pas utilisé les coupures standards optimisées pour les sources fortes mais nous avons fait une étude sur simulation pour optimiser les coupures afin d'augmenter le rejet du bruit de fond hadronique. L'analyse des données est en cours et porte sur 58 heures d'observation sur la source et 46 heures hors source.

## 2. Les restes de supernovae

En tant que reste de supernova le plus lumineux du ciel, la Nébuleuse du Crabe (SN1054) a été un des objets les plus étudiés en astronomie. L'émission non pulsée de photons dans la région du TeV a montré une grande stabilité de flux depuis sa découverte, ce qui permet à cette source de jouer le rôle d'étalon pour les télescopes au sol et fait l'objet d'un suivi régulier. Son observation nous permet de contrôler au cours du temps la réponse du détecteur.

Ces deux dernières années nous avons fait un suivi régulier de trois autres restes de supernovae : IC443, CTA1, et CTB80. Ces observations nous ont permis d'apporter une limite supérieure sur leur flux.

CAT et CELESTE (autre expérience sur le site de Thémis) ont des programmes d'observation com-

muns sur un certain nombre de sources. Ce programme va se poursuivre dans les prochaines années, mais l'équipe du laboratoire n'y participera pas. Le groupe Astronomie Gamma va se concentrer sur un seul projet avec le démarrage des télescopes de HESS.

### M. Rivoal

#### Le groupe HESS :

E. Anciant, M. de Naurois,  
J. Guy, J.-P. Tavernet,  
P. Vincent.

#### Électronique

M. Ba Trung, J.-P. Denance,  
C. Goffin, P. Nayman,  
F. Toussenel.

#### Informatique

M. Detournay, J.-F. Huppert.

#### Le groupe CAT

C. Renault, J.-P. Tavernet.

#### Électronique

J.-P. Denance, F. Toussenel.

# Physique Théorique :

## QCD et approches phénoménologiques

Les domaines d'intérêt du groupe « théorie » relèvent de la phénoménologie des particules. Nous étudions, par l'intermédiaire de modèles basés sur la théorie quantique des champs, ce que les résultats expérimentaux peuvent nous apprendre sur la théorie et inversement. Les travaux récents portent sur des approches perturbatives de la chromodynamique quantique (QCD), des approches non-perturbatives de l'interaction forte à partir de théories effectives, de relations de dispersion, de règles de somme et de méthodes variationnelles. Dans un ordre croissant avec l'énergie, on peut mentionner ici quelques unes des machines sur lesquelles ont été, sont ou vont être réalisées des expériences en rapport avec les recherches présentées : PSI, TSL, SATURNE, LEAR, COSY, BNL, AGS, ISR, SPS, Tevatron, RHIC, LEP, HERA, LHC.

### QCD chirale

A basse énergie la QCD est caractérisée par le confinement des quarks et des gluons. De plus, la brisure spontanée de la symétrie chirale crée l'octet des bosons de Goldstone  $\pi$ , K,  $\eta$ . Ils constituent alors avec les baryons, les degrés de liberté importants à considérer. La connaissance des interactions des bosons de Goldstone, en particulier du  $\pi$ , avec les baryons et de leur interaction entre eux, est

importante pour une meilleure compréhension de la théorie, notamment pour l'étude de la structure chirale du vide de QCD.

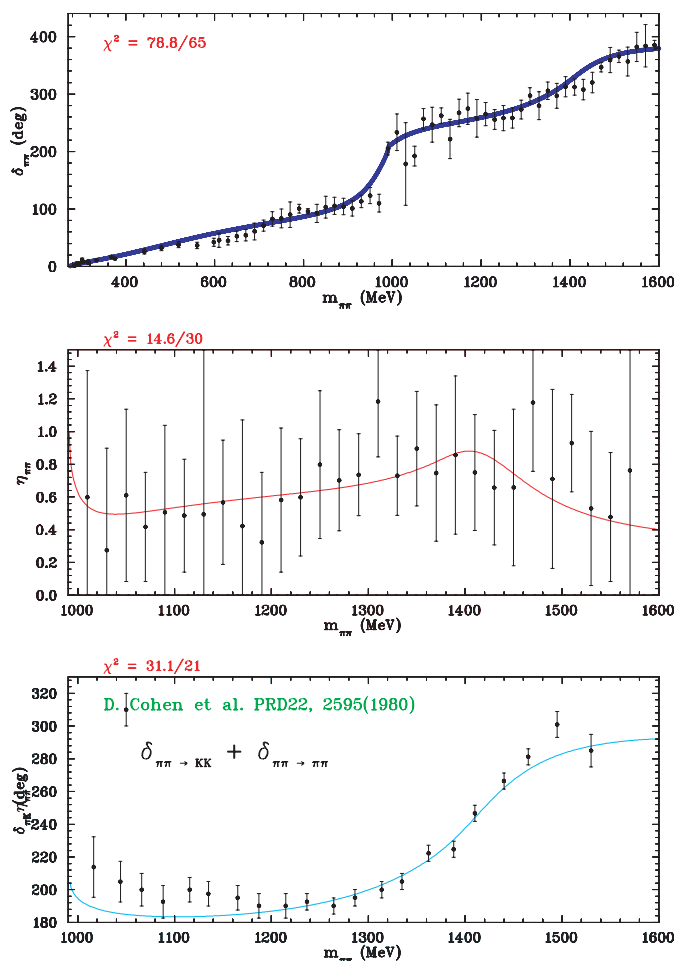


Figure 1 : reproduction des données pion-pion et pion-pion  $\rightarrow$  kaon-antikaon confirmant l'existence des résonances  $f_0(1370)$  et  $f_0(1500)$ , candidate possible de boule de glue.

### L'interaction pion-nucléon

L'utilisation d'une relation de dispersion à énergie nulle et vers l'avant conduit à une règle de somme isovectorielle. Cela a permis de calculer avec précision la constante de couplage  $\pi N$  en fonction des longueurs de diffusion  $\pi N$  et d'une intégrale sur la différence des sections efficaces totales  $\pi^-p$  et  $\pi^+p$  pour toutes les énergies du seuil jusqu'à l'infini. Dans ce calcul, on utilise les longueurs de diffusion  $\pi^-p$  et  $\pi^-D$  déduites à partir de mesures très précises de PSI sur les atomes pioniques hydrogène et deutérium.

En collaboration avec le groupe neutron de TSL, le couplage pion-nucléon a également été déterminé grâce à une méthode de différence par extrapolation au pôle du pion de données précises d'échange de charge neutron-proton. Dans une autre étude le couplage  $\pi\Lambda\Sigma$  a été extrait à partir des temps de vie des atomes  $\Sigma$  hyperoniques.

Un test important des modèles chiraux consiste à étudier les paramètres de basses énergies de la diffusion  $\pi^-p$ , comme les longueurs de diffusion, connues expérimentalement avec une grande précision. Dans ce cas, les corrections électromagnétiques jouent un rôle primordial. Pour cela ces corrections ont été calculées dans le cadre d'un modèle perturbatif chirale, relativiste, des quarks. Par ailleurs, les résultats obtenus pour les déplacements d'énergie, dûs aux corrections de brisure d'isospin dans l'état  $^1S$  des atomes  $\pi^-p$ , seront utiles pour l'expérience « Hydrogène Pionique » en cours à PSI (Villigen).

### Les boules de glue

En ce qui concerne les interactions des bosons de Goldstone entre eux, un modèle unitaire à 3 voies,  $\pi\pi$ ,

$K\bar{K}$  et une voie effective  $2\pi - 2\pi$ , a été construit, modèle qui confirme l'existence des résonances  $f_0(1370)$  et  $f_0(1500)$ , cette dernière étant une candidate possible de boule de « glue » prévue par QCD. Ces résonances ont été mises en évidence récemment avec l'étude, par Crystal Barrel (LEAR), de l'annihilation  $\bar{p}p \rightarrow$  mésons. De plus, les contraintes théoriques de la symétrie de croisement ont été étudiées à l'aide des équations de Roy, basées sur des relations de dispersion. Ont été également considérées les contraintes provenant de la symétrie chirale au voisinage du seuil  $\pi\pi$ . Cela permet d'éliminer une ambiguïté dans les amplitudes d'onde S pion-pion, amplitudes extraites des données expérimentales.

Les expériences récentes d'annihilation (LEAR) suggèrent l'existence d'états exotiques de « boules de glue » et une analyse détaillée, de la désintégration en 2 corps des résonances  $f_0(1370)$ ,  $f_0(1500)$  et  $f_0(1710)$  dans l'annihilation, a été réalisée avec un modèle de mélange « boules de glue » scalaire et des états isoscalaires  $^3P_0$  du nonet quark-antiquark. Une extension aux mésons tenseurs vient d'être achevée.

### Transition de phase de l'univers

Les modèles chiraux peuvent aussi servir dans l'étude des transitions de phase au cours de l'évolution de l'Univers primordial. La transition quark-hadron a été analysée en détails à l'aide d'un modèle effectif de QCD qui incorpore la symétrie chirale de la théorie. Un tel modèle est capable de fournir une bonne description de la physique hadronique à basse énergie. Avec les valeurs des paramètres ainsi fixées et en introduisant une dépendance en température et en densité, ce

modèle peut prédire l'existence d'étoiles de quarks. Les MACHOs (Massive Astrophysical Compact Halo Objects) pourraient être identifiés à de tels objets.

### L'interaction nucléon-nucléon

Les données expérimentales sur l'interaction nucléon-nucléon, à basse et moyenne énergie, nombreuses et précises, sont également susceptibles de fournir des indices sur le rôle des degrés de liberté des quarks dans le mécanisme de l'interaction forte. Des modèles non-relativistes d'agrégats de quarks ont été testés, modèles proposés pour décrire la courte portée de l'interaction nucléon-nucléon. Complétant ces modèles par la moyenne et longue portée du potentiel de Paris, bien fondé théoriquement, les différentes observables, mesurées avec grande précision expérimentalement, ont été calculées et il a été montré que la description des forces nucléaires à courte portée par les agrégats de quarks non relativistes est, pour l'instant, plutôt qualitative. D'autre part, la contribution de l'échange de deux pions, à la diffusion pp de 1 à 12 GeV à 90 degrés, a été calculée, ce qui a montré: 1) le rôle essentiel joué par le facteur de forme représentant les partons constituants du nucléon; 2) que l'échange de deux pions donne une contribution importante dans ce domaine d'énergie.

### QCD non-perturbative

#### Le Poméron

A très haute énergie (RHIC, HERA, LEP2, collisionneur du CERN, Tevatron, LHC) la diffusion élastique et diffractive est contrôlée par 2 singularités situées près de  $J=1$  dans le plan complexe  $J$ : le Poméron (amplitude paire par rapport au croisement  $s \leftrightarrow u$ ) et

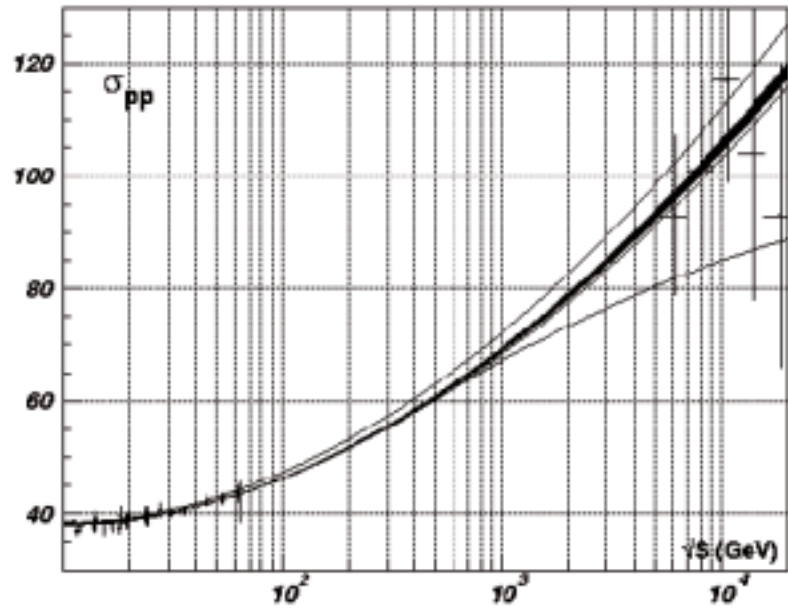


Figure 2 : prédictions pour la section efficace totale pp à haute énergie (collaboration COMPETE).

l'Odderon (amplitude impaire dans ce croisement). Le Poméron joue un rôle important dans le comportement des sections efficaces totales pp,  $\pi^+p$ ,  $K^+p$ ,  $\gamma p$  et  $\gamma\gamma$  à très haute énergie. Ces sections efficaces ont été reproduites au mieux en introduisant, en plus des termes de Regge, un Poméron non-perturbatif, représenté par 2 singularités de Regge, modèle inspiré par des calculs perturbatifs BFKL.

#### Modélisation : COMPETE

Les paramétrisations analytiques des amplitudes de diffusion hadronique vers l'avant constituent un domaine bien établi de la physique des interactions fortes. L'idée clé est d'imposer les principes généraux - analyticité, unitarité, symétrie de croisement et positivité des sections efficaces totales - auxquels on ajoute d'autres contraintes générales comme, par exemple, la relation entre les pôles de Regge et les masses des résonances. En l'absence d'une forme de l'amplitude déduite de la QCD, une telle approche peut fournir un outil utile pour l'étude de la physique non-perturbative.

Le groupe COMPETE (COMputerized Models and Parameter Evaluation for Theory and Experiment), récemment formé, a comme but d'éliminer, autant que possible, l'arbitraire que l'on observe, jusqu'à présent, dans la phénoménologie.

Dans ses analyses, COMPETE inclut toutes les données existantes vers l'avant (nucléon - nucléon, pion - nucléon, kaon - nucléon, Sigma - nucléon,  $\gamma$  - nucléon et  $\gamma\gamma$ ), pour les sections efficaces totales et pour le paramètre  $\rho$ , où  $\rho(s,t=0) = \text{Re}F_N(s,t=0) / \text{Im}F_N(s,t=0)$ . COMPETE étudie un grand nombre de variantes d'un seul et même modèle, chaque variante correspondant à un ensemble bien déterminé de propriétés physiques. COMPETE introduit un ensemble d'indicateurs numériques, car le critère du  $\chi^2/\text{dof}$  n'est pas, de toute évidence, suffisant. COMPETE a ainsi étudié plus de 250 variantes qui peuvent, à leur tour, être classées dans 6 classes principales de modèles. Ces paramétrisations sont confrontées aux données expérimentales dont le nombre varie entre 904 (pour une coupure en énergie à 3 GeV) et 329 (pour une coupure à 10 GeV). Le modèle de Donnachie-Landshoff est clairement éliminé par ces critères numériques. Les résultats de COMPETE favorisent le modèle à deux composantes du Poméron non-perturbatif considéré ci-dessus. La première composante correspond à un pôle simple à  $J=1$  et son couplage dépend de la réaction considérée. La deuxième composante correspond à un pôle triple à  $J=1$  et son couplage ne dépend pas de la réaction considérée: les auteurs appellent cette propriété, inattendue dans la théorie de Regge, l'universalité G (« G » de « gluons »). La meilleure forme analytique pour la description des données expérimentales est celle en

$\ln^2s$ , proposée en 1952 par Werner Heisenberg, huit ans avant la publication de la borne de Froissart. Ce modèle à deux composantes, qui peut être interprété en terme d'un couplage aux échanges purement gluoniques, distinct du couplage aux quarks, rétablit une faible violation de la dégénérescence d'échange, en accord avec les données sur les masses des résonances. Les résultats de COMPETE sont présentés dans l'édition 2002, de « Review of Particle Physics ».

#### B. Loiseau

B. Nicolescu, P. Gauron,  
M. Lacombe, R. Vinh Mau.

## Services techniques et administratifs

Le laboratoire comprend 26 chercheurs CNRS, 21 enseignants-chercheurs appartenant aux Universités Paris 6 et 7, 11 doctorants, 2 post-doctorants et 2 visiteurs étrangers, soit au total 62 physiciens au 1<sup>er</sup> mars 2002. L'administration et les services généraux sont composés de 11 personnes. Le service technique est formé de 17 ingénieurs et techniciens en électronique, 10 informaticiens et 10 mécaniciens. Le directeur est assisté d'une secrétaire de direction qui assure également la gestion des personnels de recherche.

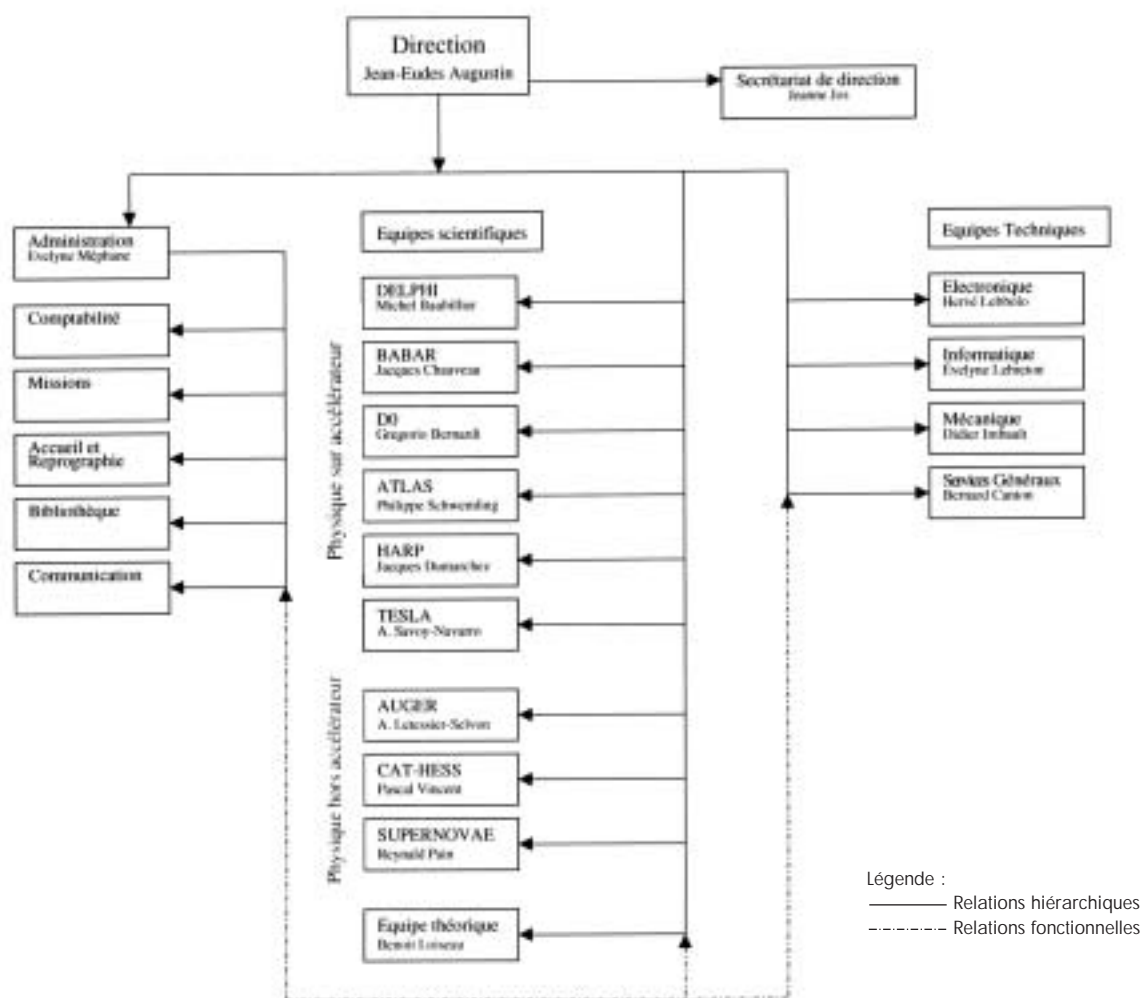
De 2000 à 2001, 6 ITA ont quitté le laboratoire, 6 ont été recrutés. Dans le corps des physiciens, 3 départs à la retraite ont été compensés par l'intégration de 2 chercheurs et 3 enseignants-chercheurs.

Durant cette période, 7 thèses ont été soutenues et actuellement, le laboratoire accueille 11 doctorants. On

trouvera ci-dessous l'organigramme résumant le fonctionnement du laboratoire. Le LPNHE est doté d'un règlement intérieur qui rassemble les textes successifs sur le Conseil de Laboratoire, le Conseil Scientifique, la Commission Paritaire des ITA et les autres règles de fonctionnement. Le renouvellement de ces instances a eu lieu au cours des deux dernières années.

Depuis 1998, le Laboratoire héberge un petit groupe de théoriciens en phénoménologie des particules. Cette équipe, constituée à l'origine sous la direction du regretté Dominique Vautherin, fait l'objet d'un accord entre l'Université Paris 6 et la Direction SPM du CNRS. Leur activité les rapproche naturellement des expérimentateurs en Physique du B.

Jean-Eudes Augustin



Organigramme du fonctionnement du LPNHE



## Électronique

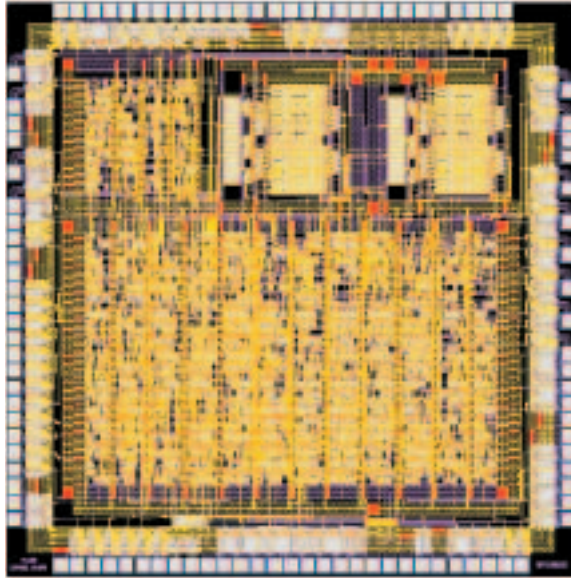


Figure 1 : schéma du circuit intégré SPAC-esclave situé sur chaque carte « Front-End » du calorimètre électromagnétique.

Le service d'électronique du LPNHE comprend 17 ingénieurs et techniciens, qui sont soit directement impliqués dans les différentes expériences de physique, auprès des accélérateurs (CERN, SLAC, DESY, FNAL) hors accélérateurs à terre (Hess) ou embarquées (Supernovae) soit appartiennent au groupe CAO chargé de réaliser le placement routage des cartes électroniques. Les électroniciens du laboratoire assurent la conception, la réalisation, le test et le suivi de systèmes destinés à fonctionner sur les sites d'expériences dans des environnements souvent très sévères. Pour ces raisons, les différentes réalisations suivent de stricts critères de qualité imposés par les collaborations afin d'assurer un fonctionnement correct des matériels dans la durée. Ces systèmes font appel à différents types d'électronique : analogique rapide faible bruit, numérique

rapide, et différentes technologies : composants discrets, circuits intégrés programmables ou spécifiques. Le service dispose de moyens CAO importants acquis par l'IN2P3 ou via des organismes européens comme Europractice. Ces logiciels de CAO permettent le placement et routage de cartes électroniques, la modélisation et la simulation de systèmes grâce à des langages de haut niveau, et le dessin de circuits intégrés y compris au niveau du transistor.

H. Lebbolo

### Expérience Atlas

Le laboratoire a la charge de la réalisation du système de synchronisation et de contrôle des châssis d'électronique de lecture des signaux de calorimétrie. Le système de lecture de la calorimétrie d'ATLAS comporte une soixantaine de châssis « Front-End », contenant chacun une quarantaine de cartes électroniques pilotées par deux cartes contrôleur de châssis. Chaque carte contrôleur doit remplir deux fonctions principales :

- fournir aux modules du châssis des signaux de déclenchement et d'horloge, qu'elle reçoit d'un processeur central par fibre optique;
- permettre le contrôle des paramètres de fonctionnement de ces modules, par l'intermédiaire d'un protocole de communication série, conçu pour les besoins spécifiques de l'expérience (SPAC).

Les châssis d'électronique « Front-End », situés à la proximité du détecteur, étant exposés à de forts taux de radiations (20 Gray/an et  $10^{12}$  neutrons/cm<sup>2</sup>/an) tous les composants électroniques employés doivent être développés dans une technologie durcie ou, dans le cas de composants commerciaux, sélectionnés et qualifiés de manière systématique pour leur résistance aux radiations.

Les informations temporelles arrivent en série au contrôleur, à la fréquence de 160 MHz, par fibre optique. Elles y sont converties en signaux électriques différentiels et retransmises à chaque carte « Front-End » par l'intermédiaire d'une liaison point à point. Chaque carte dispose (de même que le contrôleur) d'un circuit TTCRx du CERN qui a pour rôle de décoder les signaux d'horloge, de les ajuster en temps en ajoutant un retard programmable par pas de 104 ps, et de décoder les signaux de déclenchement de niveau 1, de croisement des faisceaux, d'initialisation et de calibration.

Le contrôle des paramètres des cartes du châssis « Front-End » s'effectue par le biais d'un bus de communication série bidirectionnel, à un débit de 10 Mb par seconde. La communication entre la salle de contrôle et des cartes du châssis est réalisée en deux étapes : un premier brin, optique, assure la liaison entre le châssis maître VME de la salle de contrôle et le contrôleur de châssis, le second brin, électrique, relie les cartes « Front-End » au contrôleur de châssis par l'intermédiaire d'un bus rigide, disposé sur un circuit imprimé. Sur chaque carte du châssis, un circuit intégré spécifique (appelé SPACSLAVE) décode les informations provenant du lien série pour les rendre exploitables par les composants électroniques de la carte hôte.

L'architecture du système de distribution des signaux de déclenchement et de la communication série est orientée vers la recherche d'une fiabilité et d'une redondance maximale. Ainsi, la plupart des lignes de communication sont doublées et dans une certaine mesure, le système de synchronisation peut se substituer à un lien série défaillant pour réinitialiser certains composants et réciproquement.

Les années 2000 et 2001 ont été consacrées au passage à une version définitive en DMILL (technologie durcie BiCMOS 0,8  $\mu\text{m}$ ) du circuit SPACSLAVE, validé antérieurement sous forme de circuit programmable, et synthétisé en cellules standards à partir d'une description VHDL. En 2000 a été testée avec succès une première version en DMILL, fonctionnelle mais n'intégrant pas encore quelques caractéristiques demandées par la suite par la collaboration, et nécessitant quelques modifications afin d'améliorer la tolérance aux effets transitoires induits par les radiations. Fin 2001 a été soumise la production d'une pré-série de la version définitive, qu'il reste à qualifier sous irradiation par un faisceau de protons, ce qui est prévu pour mi-2002. Avant la soumission du circuit en production, de nombreuses simulations ont permis de s'assurer de l'immunité du fonctionnement interne du circuit face aux effets transitoires des rayonnements ionisants, et de la robustesse du système de bus rigide en cas de panne d'un élément du système. D'autre part, des cartes maîtres de communication série ont été réalisées en format VME standard.

Par ailleurs, un prototype de contrôleur de châssis comprenant la communication série et la distribution d'horloge par les circuits TTCRx a été testée avec succès en faisceau au cours de l'été 2000.

Les années 2002 et 2003 seront consacrées aux tests et à la production de 130 cartes contrôleur de châssis équipées de composants durcis ou qualifiés aux radiations et des bus rigides correspondants, de 2000 circuits SPACSLAVE et d'une trentaine de maîtres de communication série (format VME 9U). Les électrodes du calorimètre élec-

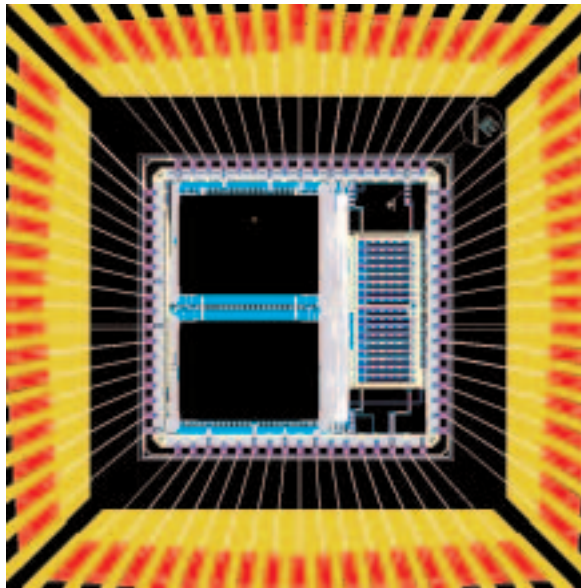


Figure 2 : implementation du circuit intégré pour le nouveau codeur de temps (TDC) de l'expérience BABAR.

tromagnétique sont des circuits à trois couches séparés par un isolant en Kapton. Le laboratoire a mené à bien la construction puis la mise au point des bancs de tests RC et HT pour la moitié des électrodes baril pliées (électrodes A, et pour toutes les électrodes bouchons pliées (électrodes de type D et C, ainsi que les bancs de test RC des électrodes plates (baril et bouchons électrodes de type A, B, C et D).

O. Le Dortz

#### Expérience Babar

Les circuits intégrés codeurs de temps (TDC) conçus au laboratoire et installés à SLAC en 1998 fonctionnent comme prévu. Toutefois, le taux d'occupation des voies d'électronique est, à haute luminosité, largement supérieur aux prévisions initiales. La collaboration a donc demandé au LPNHE de concevoir une nouvelle version du TDC acceptant un taux d'entrées décorrélées de 1 MHz sur chaque canal. Compte tenu, d'une part des contraintes liées à la stricte compa-

tibilité avec la précédente version, notamment l'alimentation de 5V, et d'autre part du fait que le fabricant du premier TDC (Atmel ES2) n'est plus partenaire d'Europractice, le choix s'est porté sur une technologie CMOS 0,6  $\mu\text{m}$  d'AMS. Les modifications majeures portent sur la lecture sélective qui devra traiter dix fois plus de données qu'initialement. La technologie du fabricant AMS intégrant des mémoires beaucoup plus grandes, il a été possible d'organiser cette nouvelle lecture autour d'une seule mémoire double port d'une capacité de 256 mots de 122 bits qui permet de stocker toutes les données pendant la latence du déclenchement de premier niveau et d'effectuer une suppression de zéro. Lorsque les données deviennent trop vieilles pour un déclenchement éventuel, elles sont effacées : si un déclenchement arrive, les données présentes sont automatiquement bonnes et lues. L'équipe constituée de 3 électroniciens du LPNHE et d'un ingénieur du LAL d'Orsay a démarré la conception du circuit au début de l'année 2001 et a soumis un premier prototype avec une lecture sélective simplifiée en juillet. Après les tests du premier prototype, un second circuit intégrant des corrections dans la partie mesure a été soumis mi-décembre 2001, ce prototype est attendu pour le mois de mars 2002. La production du circuit final doit être lancée au mois de mars 2002 afin de remplacer tous les circuits sur les cartes de « Front-End » avant le redémarrage de BABAR fin octobre 2002.

H. Lebbolo

#### Expérience DØ

Dans le cadre de la préparation au Run II de l'expérience DØ (FNAL, États-Unis) le LPNHE a la responsabilité de la calibration électro-

nique du calorimètre à Argon liquide. Une mise à jour de cette calibration est rendue nécessaire par la diminution du temps entre deux collisions qui passe de 3,56  $\mu$ s à 396 ns puis 132 ns et du temps de mise en forme du signal qui passe de 2,2  $\mu$ s à 300 ns. La calibration électronique consiste à envoyer une quantité de charge connue avec une précision de l'ordre du pour mille à l'entrée de la chaîne d'acquisition du détecteur afin de connaître les caractéristiques de celle-ci et son évolution dans le temps. Le temps de mise en forme du signal étant du même ordre de grandeur que le temps de collection des charges sur les électrodes, la forme du signal est d'une extrême importance, ce qui n'était pas le cas lors du Run I. Le système est constitué de douze pulseurs situés sous le calorimètre, programmés via un bus série contrôlé par un module VME. Chaque pulseur envoie 96 courants continus contrôlés par un DAC et des signaux de commandes vers deux répartiteurs actifs conçus par le LAL Orsay, situés dans les boîtes de préamplificateurs. A la réception d'un signal de commande, un circuit situé sur le répartiteur convertit le courant continu en un signal dont la forme est donnée par des composants passifs. Les signaux sont ensuite injectés par des câbles très courts à l'entrée des pré-amplificateurs. Les pulseurs et leurs alimentations ont été produits testés et installés sur site durant l'année 1999 et début 2000. Une interface entre le système d'acquisition et les pulseurs intégrant une automatisation des cycles de calibration a été développée et installée, permettant de diminuer la durée des séquences de calibration.

H. Lebbolo

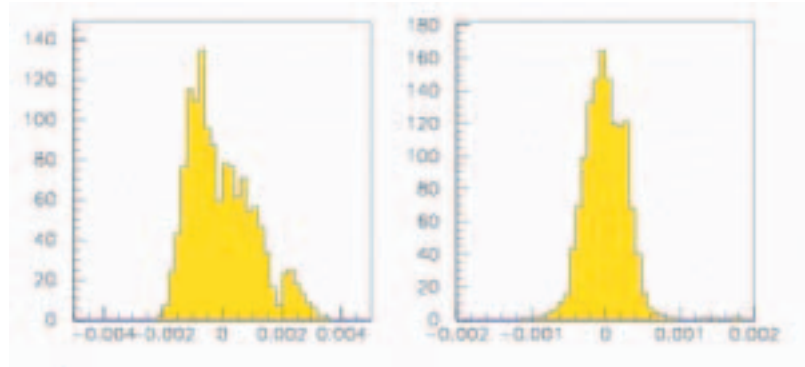


Figure 3 : uniformité du courant/unité de DAC délivré par les 96 canaux des 12 pulseurs de DO ainsi que pour chacun des pulseurs.

### Expérience H1

Le LPNHE est impliqué dans la réalisation de l'électronique pour les projets de luminomètre et polarimètre de l'expérience H1 à DESY (Hambourg). L'équipe a en charge la conception et la réalisation de deux cartes au format VME de la chaîne d'acquisition de ces deux détecteurs. Cette chaîne d'acquisition doit lire jusqu'à 2 millions d'événements par seconde devant être analysés.

La première (carte ADC) est destinée à numériser les signaux issus des préamplificateurs sur 12 bits à raison d'un échantillon toutes les 24 ns, les données sont ensuite stockées dans deux mémoires circulaires, l'une lue par l'acquisition de H1 l'autre par une acquisition spécifique au détecteur. Seize cartes ADC ont été produites et sont en fonctionnement.

La seconde (carte TDC) est destinée à enregistrer les temps d'arrivée des signaux avec une précision de 500 ps et de les stocker dans une mémoire circulaire lisible par l'acquisition locale. Cette carte utilise le circuit intégré TDC développé au laboratoire pour le détecteur DIRC de l'expérience BABAR à SLAC. Quatre cartes TDC ont été produites et sont en fonctionnement à DESY.

H. Lebbolo



Figure 4 : carte ADC du luminomètre et du polarimètre de l'expérience H1.

### Expérience HESS

L'électronique de la caméra HESS se caractérise par sa compacité, sa modularité et son prétraitement des données le plus près possible des capteurs (photo-multiplieurs). Cette stratégie permet d'optimiser les performances et de minimiser le nombre de câbles (CEM, poids, prix) précédemment utilisés dans ce type d'expérience pour le stockage des données avant la décision du déclenchement de l'acquisition.

Les contraintes liées à l'expérience ont été développées dans le paragraphe consacré à la physique. L'électronique est organisée autour de trois fonctions : le traitement analogique des signaux, la logique de déclenchement et l'acquisition.

Le tiroir est l'élément de base de la modularité de l'électronique. Chaque tiroir est une mécanique supportant 16 PM, 2 cartes analogiques gérant chacune 8 PM, et une carte mère assurant toutes les fonctions du contrôle lent.

Une carte « mémoire analogique » conditionne les signaux provenant des PM (8) en vue de leur éventuelle conversion en numérique. Elle prépare la logique de déclenchement en élaborant un signal local analogique basé sur le synchronisme et la somme des signaux des 8 PM. Chaque signal analogique est amplifié d'un facteur ( $\sim 50$ ) pour la voie grand gain et la voie de déclenchement et d'un facteur ( $\sim 3$ ) pour la voie petit gain. Les signaux des voies grand gain et petit gain sont échantillonnés en permanence à 1 GHz puis stockés par des mémoires analogiques (circuits intégrés ARS0 développés à Saclay pour l'expérience ANTARES) de 128 cellules. Ces mémoires permettent à la logique du déclenchement (local et global) d'élaborer sa décision (en moins de 70 ns). En cas de déclenchement, l'échan-

tillonnage de la mémoire analogique est arrêté et les échantillons sont relus à une vitesse avoisinant les 800 000 échantillons par seconde, puis convertis par un ADC 12 bits (1 ADC pour 16 voies). Le prédéclenchement local permet de discriminer chaque voie (seuil programmable en photo-électrons), de valider chaque voie puis de sommer (en analogique) les signaux (logiques) en temps (au minimum 2 ns de recouvrement). Le signal de pré-déclenchement est envoyé vers la logique de déclenchement centrale. Un circuit programmable (FPGA Altera) assure le séquençage complet de la carte, le prétraitement et l'encapsulation des données sous forme de messages. Ce circuit permet de transférer l'ensemble des échantillons dans une fenêtre programmable (choisie à  $16 \pm 1$  ns) ou la charge équivalente intégrée. Dans ce dernier cas, on ne transfère qu'un mot par voie. La structuration en messages permet au circuit programmable de prendre l'initiative du transfert des données vers une FIFO que lit l'acquisition. La carte mère (de contrôle lent) a deux fonctions : une fonction esclave qui reçoit tous les paramètres de configuration et une fonction maître ; celle-ci a deux composantes qui bouclent en permanence : la conversion de 56 paramètres (températures, I, V, etc.) et un système d'échelles, à fenêtre programmable, pour compter les signaux passant le seuil prédéfini. Quand un bloc de données est constitué, il peut être automatiquement encapsulé en message et transféré.

L'acquisition utilise la norme compactPCI avec un processeur sous Linux. Le cPCI est un bus innovant (haut débit et haut niveau de configuration) qui autorise des transferts synchrones à un taux

pouvant atteindre 26 Mo par seconde (64 bits à 33 MHz en mode DMA). De façon à utiliser au mieux le bus cPCI, un FPGA générique a été développé. Cette interface offre 2 ports distincts de 64 bits qui peuvent être accédés en mode DMA (chaque port correspond à un espace d'adressage différent). Les différentes cartes cPCI, développées au laboratoire, ont une architecture basée sur 2 FPGA, le premier gère le cPCI et le second l'interface utilisateur. L'acquisition et le déclenchement central sont basés sur 2 demi-châssis tête-bêche (cPCI et CustomBus).

Le premier (8 positions cPCI) accueille :

- une carte processeur sous Linux
- l'interface avec le « BoxBus » : Les tiroirs sont répartis sur 4 bus privés (BoxBus) qui convergent vers l'interface FIFO-cPCI. Un système de FIFOs (2x8K mots de 16 bits par BoxBus) permet de stocker les messages entrant et sortant. Un gestionnaire de priorité, hiérarchise les différentes requêtes d'accès à chacun des BoxBus.
- L'interface de contrôle des températures et des ventilateurs : La carte scrute en permanence 16 sondes de température réparties à différents endroits de la caméra. Une mémoire locale est mise à jour. La carte permet de modifier la vitesse de différents groupes de ventilateurs. (4 zones pour les tiroirs, une zone avant, une couronne centrale et une couronne arrière pour l'électronique de la caméra) De plus, la carte permet de gérer les alimentations des tiroirs et du CustomBus.
- l'interface Registre : Cette carte générique permet de contrôler 8 lignes d'entrées et 8 lignes de sorties. 5 lignes (sorties) sont utilisées pour la programmation du système de déclenchement, les autres lignes



Figure 5 : tiroir d'électronique de hébergeant 16 photomultiplicateurs et deux cartes analogiques de la caméra de l'expérience HESS.

seront utilisées par le système de déclenchement en multitélescopes.

- le pont cPCI-CustomBus : Cette carte permet d'accéder au châssis déclenchement (Custom-Bus) à partir du cPCI. Les cartes dans le châssis CustomBus sont souvent accédées en lecture et quelquefois en écriture. Pour cette raison, la lecture est automatisée. Une mémoire de configuration de 16 mots permet de cartographier les lectures à effectuer. Chaque mot définit une adresse de base et un nombre de mots à lire à partir de cette adresse. Sur ordre (programmé ou signal) la carte enchaîne les lectures pré-définies, dans le bloc de configuration, et remplit une mémoire locale.

Le second châssis (CustomBus 11 emplacements) est principalement dédié au déclenchement et accueille :

- 6 cartes déclenchement : Ces cartes élaborent la logique sectorielle (fenêtres glissantes) en 10 ns environ ; chaque carte correspond à une zone verticale de la caméra. Pour déclencher, il est nécessaire que n voies, au moins, soient touchées parmi 64. Le nombre de voies est programmable. Les cartes déclenchement utilisent les sommes partielles en provenance des cartes « mémoire analogique ».
- 1 carte « Gestrig » : Cette carte

repréend les sorties des 6 cartes déclenchement et assure la gestion globale du déclenchement. Un signal déclenchement encadrant précisément le début et la fin du déclenchement est généré. Il est possible de choisir un déclenchement particulier (déclenchement logiciel, externe par un générateur ou par les événements physiques)

- 2 cartes « FanOut » pour redistribuer le signal de déclenchement vers les cartes « mémoire analogique ».

- 1 carte LEDs:

Le positionnement précis de la caméra est mesuré à partir de 8 LEDs. Le courant (continu) dans chaque LED est programmable (de 0 à 80 mA) par un système de DACs (10 bits).

Un emplacement supplémentaire, disponible en mezzanine, sur la carte pont cPCI-CustomBus permettra d'accueillir l'interface avec le déclenchement central (multi-télescopes).

L'ensemble de ces cartes, à l'exception des cartes CPU et GPS, a été conçu, réalisé et testé au laboratoire.

P. Nayman

### Expérience SuperNovae

Le LPNHE contribue au développement d'une électronique de lecture pour des capteurs optiques de type « Charge Coupled Devices » (CCD) et « HgCdTe », destinés à équiper le plan focal d'un télescope embarqué dans l'espace pour l'expérience SuperNova Acceleration Probe (SNAP), en collaboration avec le Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL Berkeley).

Un système de tests regroupe une enceinte à vide destinée à maintenir le capteur à une température de 130 K afin d'en tirer les meilleures per-

formances en termes de rapport signal sur bruit, un contrôleur de lecture qui fournit les signaux de contrôle et réalise l'amplification des signaux à bas bruit, une station SUN et un ordinateur PC.

Le but est de réaliser une chaîne de lecture complète sous la forme d'un jeu de circuits intégrés capables de fonctionner dans l'environnement SNAP (-10°+/-20°C) tenue à 30 krad sur trois ans depuis le traitement analogique (double corrélation) jusqu'à la numérisation des données (trois échelles sur 12 bits).

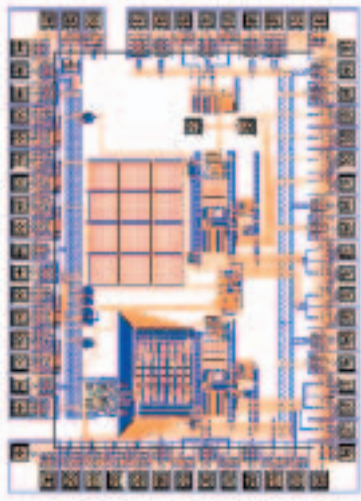
Dans cet esprit, un circuit intégré réalisant la double corrélation en technologie durcie DMILL a été développé et réalisé par l'organisme Europractice qui fait bénéficier le LPNHE de ses prestations, et fait actuellement l'objet de tests exhaustifs. L'intégration d'autres composants, comme le circuit ADC et la génération des horloges, est étudiée par le LBNL Berkeley avec une participation du Laboratoire.

De même, un circuit intégré multivoies en technologie submicro-nique est à l'étude et devrait aboutir à une réalisation testée avant la fin 2002.

J.-F. Genat

### Formation

Le service contribue à la formation d'électroniciens au niveau des premier, second et troisième cycles des universités et en accueillant des doctorants employés par l'industrie après avoir soutenu leur thèse. Des stagiaires lycéens sont également accueillis dans le cadre d'une mise en contact avec le monde du travail. Les développements d'électronique au LPNHE conduisent à des contributions aux grandes conférences internationales telles que Nuclear Science and Method, IEEE



*Figure 6 : circuit intégré pour la chaîne de lecture de l'expérience SNAP, prévue pour un fonctionnement embarqué sur satellite.*

Transactions on Nuclear Science.

Le savoir-faire des électroniciens, parfois engagés dans plusieurs projets d'expériences, s'est perfectionné. Le laboratoire pourra ainsi mieux répondre aux exigences de plus en plus sévères et variées des expériences à venir. Il se maintient ainsi dans un état de veille technologique face à des évolutions très rapides.

#### H. Lebbolo

##### L'équipe d'électronique :

P. Bailly, M. Ba-Trung,  
M. Cloarec, J.-P. Denance,  
M. Dhellot, J.-F. Genat,  
C. Goffin, A. Guimard,  
O. Le Dortz, H. Lebbolo,  
D. Martin, P. Nayman,  
J.-M. Parraud, F. Rossel,  
R. Sefri, F. Toussanel,  
A. Vallereau.



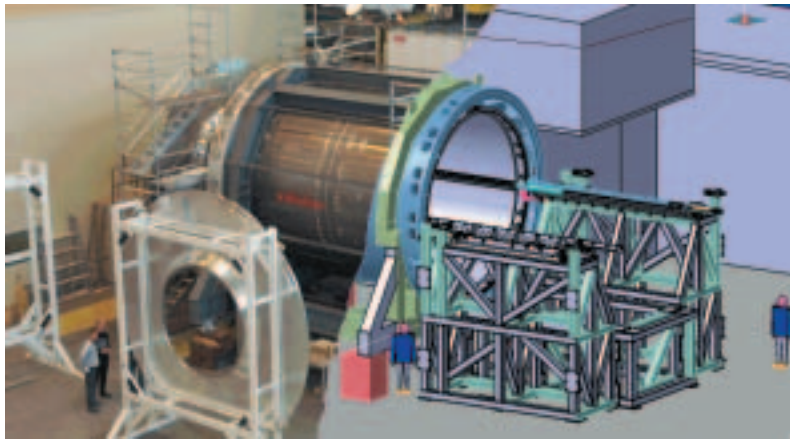


Figure 1 : cryostat du calorimètre électromagnétique central de l'expérience ATLAS avec le dessin en 3D du bâti d'insertion des modules, réalisé avec le logiciel CATIA.

## Mécanique

Le service de mécanique comprend deux ingénieurs de recherche, trois ingénieurs d'étude, quatre assistants ingénieurs et un technicien. Grâce aux logiciels de conception assistée par ordinateur (EUCLID, CATIA, Solid Edge, Autocad) et de calcul (Acord, Samcef) et à son atelier de fabrication équipé très récemment d'un centre d'usinage en commande numérique, il peut répondre aux demandes exprimées par les physiciens pour les réalisations de détecteurs de particules auprès des grands accélérateurs ou pour les expériences en astroparticules embarquées (satellites) ou au sol (télescopes).

### ATLAS

Les détecteurs qui seront mis en oeuvre auprès du futur collisionneur LHC du CERN vont permettre d'explorer de nombreux domaines de la physique des particules. Qu'il s'agisse de la physique du top ou de celle du b, de l'étude des paires de W et de Z<sup>0</sup>, de la recherche du boson de Higgs, ou de la supersymétrie, la calorimétrie y joue un rôle prépondérant.

Au sein d'une collaboration internationale le laboratoire prend part à

l'étude et à la réalisation du calorimètre central électromagnétique à Argon liquide. Ce dernier est constitué de deux cylindres de 3,2 m de long et de 2,6 m de diamètre. Il est divisé en modules de grandes dimensions, succession d'électrodes recueillant le signal et d'absorbeurs qui sont des composites de plomb et d'acier inoxydable pliés en accordéon.

La contribution de la mécanique dans la métrologie de ces constituants, dans l'étude de l'outillage de positionnement des modules et de manutention du calorimètre bouchon, dans l'étude du bâti d'insertion du calorimètre central dans le cryostat et dans l'intégration des détecteurs a constitué une partie majeure de notre activité pour la période 2000-2001. Cette expérience a mobilisé 90 % des ressources du service.

### Calorimètre central

Ce calorimètre doit mesurer l'énergie des photons et des électrons avec une très bonne précision. L'homogénéité de l'épaisseur du plomb utilisé pour fabriquer les absorbeurs du calorimètre est un des points les plus délicats et le but, lors de la construction du détecteur, est de maintenir sa contribution propre à la résolution en dessous de 0,3 %. Dans ce cadre, nous avons la responsabilité de la métrologie à chaud du plomb et des absorbeurs.

#### ● Métrologie du plomb

Le laboratoire a mis au point un système de suivi et de mesure des plaques de plomb.

Un système de radiographie en ligne avait été mis en oeuvre directement, avec la participation du CEA, auprès du lamineur en Allemagne (précision de la mesure ~5 µm). La production avait été effectuée avec succès (80 tonnes).

Après la découpe, les épaisseurs des quelques 5 000 plaques de plomb

sont à nouveau mesurées avec une plus grande précision (3 µm par point et 600 points par plaque) à l'aide d'une table automatisée équipée d'une tête de mesure à ultrasons. Ces mesures sont effectuées dans le hall IN2P3 à Orsay.

Une fois mesurée, chaque plaque est repérée, entreposée et un appareillage permet de rendre le détecteur aussi homogène que possible. Ces opérations sont faites avant l'envoi des plaques vers la chaîne de fabrication des absorbeurs. Cette fabrication est réalisée par le Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire d'Orsay.

Actuellement, plus de 80 % des mesures concernant le plomb ont été réalisées.

#### ● Métrologie des absorbeurs

Après pliage et assemblage des différents éléments constituant un absorbeur, le service a en charge le contrôle de la géométrie du produit fini. Celui-ci est réalisé à l'aide d'une machine de mesure tridimensionnelle sur laquelle est installé un outillage guidé en translation permettant la mesure des absorbeurs sur toute leur longueur (3,2 m).

Le laboratoire est responsable des mesures et de leur interprétation. Plus de la moitié des absorbeurs ont été mesurés.

#### ● Électrodes

Les dessins des électrodes du calorimètre central avaient été réalisés par le service en liaison avec le CERN et le LAPP d'Annecy. Le LPNHE a en charge les tests électriques d'une partie des électrodes. Ces tests reposent sur la nécessité de qualifier le produit à la sortie de l'entreprise et d'en vérifier la qualité avant assemblage des modules.

Douze appareils permettant le contrôle des électrodes (à plat ou pliées) après fabrication ont été étudiés et mis au point au laboratoire pour les industriels ou la collaboration.

Ces appareils ont été conçus et réalisés en étroite liaison avec des électroniciens du laboratoire. La participation du service dans ce domaine s'est achevée début 2000.

### **Intégration**

L'équipe de mécanique est responsable, depuis septembre 1998, de l'étude du montage du calorimètre central et bouchons d'ATLAS.

Ce travail conséquent consiste plus particulièrement en l'analyse de la cohérence des différents scénarios donnés par les laboratoires impliqués dans l'intégration, dans le recensement de toutes les tâches, l'étude d'outillages et dans la définition de l'implantation des différentes opérations d'assemblage, de stockage et de test des détecteurs et des cryostats. Nous avons eu en charge la définition de toutes les salles propres (ISO 8) destinées aux montages et tests.

A partir du recensement des tâches à effectuer dans le hall et de l'évaluation des besoins associés (stockage, déplacements...) un scénario général et les dessins 3D correspondants ont été élaborés et approuvés par la collaboration.

En plus de cette étude globale et de la définition, de la fabrication et de la mise en place d'outillages spécifiques de manutention ou de stockage, la conception d'un outillage complexe de grandes dimensions, le bâti d'insertion du détecteur central (70 tonnes) dans le cryostat, est en cours d'achèvement. Le suivi des réalisations, de l'installation, puis de l'utilisation de cet outillage est de notre responsabilité.

### **La « table EMEC »**

L'étude de l'outillage de grande dimension (« table EMEC » de 4,2 m de diamètre) supportant les huit modules, pour les deux bouchons électromagnétiques d'ATLAS de

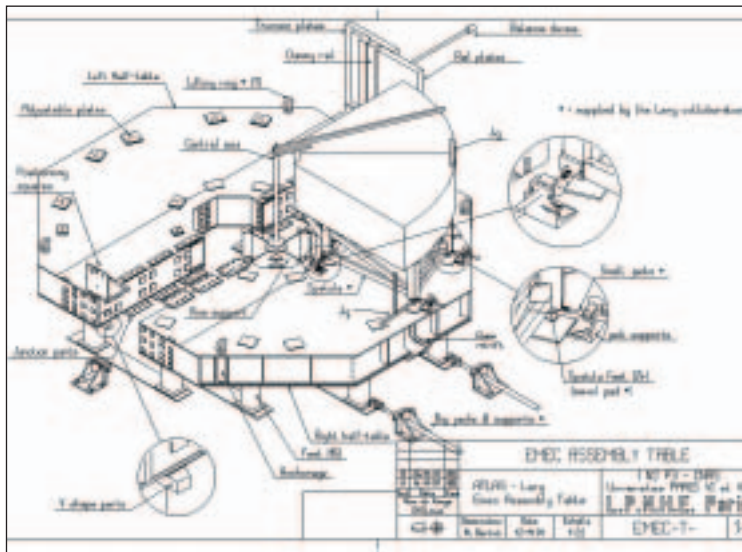


Figure 2 : dessin de la « table EMEC » conçue pour l'assemblage et l'insertion des modules des calorimètres électromagnétiques bouchons de l'expérience ATLAS.

25 tonnes chacun, permettant leur positionnement précis (0,1 mm), l'assemblage puis le retournement en vue de l'introduction dans le cryostat est pratiquement finalisée. Pour permettre la mise en place du dernier module, du fait de la forme des absorbeurs en accordéon, cette « table » est séparée en deux éléments dont l'un peut translater par rapport à l'autre après chargement et revenir en place avec une grande précision. La fabrication est réalisée en Russie.

### Supernovae/SNAP

Nous avons étudié et fait réaliser un cryostat de test permettant la mesure sous vide et à  $-125\text{ °C}$  des CCD en vue de l'expérience embarquée SNAP.

Fin 2001, un ingénieur a pris la responsabilité importante de « Project manager » pour la participation française au satellite SNAP.

### NLC/TESLA

Les études préliminaires d'une enveloppe complète de détecteurs de traces en silicium pour la partie centrale (diamètre 1,7 m, longueur 5 m) et les bouchons d'une expé-

rience du futur collisionneur linéaire ont débuté à l'automne 2001. De nombreux problèmes sont à résoudre. Ils concernent les matériaux, la thermique et le positionnement de ces détecteurs.

### Planck, Archéops, Glast

Dans le cadre de la mutualisation des services de mécanique du PCC Collège de France et du laboratoire, le service a réalisé des études et fabrications pour les expériences embarquées Archéops (polariseur), Planck (calibrage au sol de l'installation optique) et Glast (validation de la liaison optique du calorimètre entre les cristaux de CsI et les diodes).

### Harp

Plusieurs supports de grandes dimensions pour les chambres modifiées d'une expérience d'oscillation de neutrinos (expérience Nomad) ont été étudiés, réalisés et mis en place au CERN par la mécanique du LPNHE avec la participation, pour l'étude, d'un assistant ingénieur du PCC.

### Activités complémentaires

Des membres du service sont engagés dans certaines formations du CNRS ou de l'IN2P3 (école de technologie) dans des groupes de travail (GDT qualité) et dans le réseau des mécaniciens. Un ingénieur est ACMO du laboratoire et responsable des services généraux.

### D. Imbault

#### L'équipe de mécanique :

W. Bertoli, B. Canton,  
M. Commerçon, Ph. Etienne,  
D. Imbault, Ph. Laloux, D. Laporte,  
Ph. Repain, D. Steyaert,  
D. Vincent.

## Informatique

Le groupe informatique du laboratoire a pour mission d'assurer le bon fonctionnement du réseau local et des équipements qui y sont connectés (plus de 300 numéros IP attribués en décembre 2001 sur 2 réseaux de classe C).

Le travail informatique de la discipline se répartit entre les lieux d'expériences, l'important Centre de Calcul de l'IN2P3 à Lyon et les moyens locaux. Il est donc naturel que les activités du groupe local s'organisent de façon complémentaire à celles de Lyon. Sont effectués sur les matériels du laboratoire : les analyses fines, la production des documents graphiques, certains types de simulations. La répartition peut évoluer au gré du temps, des impératifs techniques ou des contraintes financières, mais il est important de conserver au système la plus grande souplesse possible.

L'année 2000 a vu se poursuivre l'installation des serveurs Linux biprocesseurs alors que déjà le renouvellement de certains serveurs d'expériences a eu lieu. Aujourd'hui, la configuration type est de 2 processeurs 1 GHz avec 1 à 2 Go de mémoire et 200 Go de disques SCSI. D'autre part, l'expérience SNOVAE a mis en route un serveur avec un ensemble de disques IDE fonctionnant en mode RAID+5.

L'espace disque dépasse le Téraoctet et une partie des espaces HOME est sauvegardée chaque nuit par un robot de 200 Go (sans compression). En fin d'année 2001, le laboratoire a équipé le robot d'un deuxième lecteur afin d'accélérer les sauvegardes. Cependant, ce choix a pour contrepartie une consommation plus grande de cassettes exabytes et nous devons envisager une évolution pour le service de sauvegarde à partir de la fin 2003.

Une importante réalisation des années 2000-2001 a été la refonte complète du réseau local coaxial à 10 Mbit/s en un réseau à architecture en étoile basé sur des paires torsadées à 100 Mbit/s. En plus du réseau principal, un certain nombre de sous-réseaux propres aux expériences d'astroparticules ont été mis en place afin de permettre à ces équipes, qui échangent beaucoup de données internes, de rester isolées tout en ayant de bonnes performances et en perturbant au minimum les autres groupes.

En ce qui concerne les postes de travail, les terminaux X sont remplacés par des PC Linux pour des raisons de coût et de sécurité ; cependant, ces installations demandent du temps au service et n'ont pas été encore automatisées et standardisées suffisamment.

Pour ce qui est de la CAO mécanique, l'arrivée du logiciel CATIA qui s'exécute sur des PC Windows 2000 modifie l'environnement de travail de ce service et sollicite davantage l'équipe informatique ; il y a, en effet, multiplication des installations sur les postes individuels (4 pour le laboratoire) et une réflexion sur la répartition des programmes entre clients et serveur Windows est en cours.

Côté CAO électronique, le serveur et les machines clientes ont été mises au niveau Solaris 2.7 afin que les nouvelles versions du logiciel CADENCE soient opérationnelles. Cependant, ce serveur mis en route en 1996 ne peut plus être amélioré du point de vue matériel ; l'achat d'une nouvelle machine de conception plus récente (E250) est donc envisagé.

Côté informatique générale, l'année 2001 a vu la mise en route d'un serveur de courrier et d'un serveur d'impressions. Pour la majorité des utilisateurs, les échanges de courrier

se font donc via cette machine. L'accès filtrant aux équipements informatiques du laboratoire a été sécurisé.

Le laboratoire est entré dans la collaboration DATAGRID - projet européen de mise en commun des ressources en temps calcul et des capacités de stockage avec la participation d'un ingénieur au TestBed0 (installation et test du logiciel « Globus ») Ensuite, pour le TestBed1, un groupe de travail avec l'IPSL s'est constitué sur le Campus de Jussieu ; le logiciel « Visualisation de la couche d'ozone » (Sciences de l'observation de la terre) a été l'une des applications retenues pour la démonstration de présentation de DATAGRID à l'Union Européenne.

Comme dans le passé, le laboratoire continue d'assurer un service informatique au bénéfice des DEA « MIP » et « GI » et maintenant aussi du DESS « Capteurs ». Sur le plan matériel, il s'agit de deux serveurs Linux et Windows et d'une vingtaine de postes pouvant utiliser les deux systèmes. En outre, en début d'année académique, une initiation à Unix/Linux est assurée par un ingénieur du service.

Les équipements réservés aux étudiants en début d'année sont disponibles ensuite pour le laboratoire de mars à septembre, et durant cette période des formations avec travaux pratiques sont possibles : ainsi des cours de C++, HTML et EXCEL ont eu lieu en 2001.

Une collaboration entre l'enseignement en DEA d'informatique à l'université de Bogota et le LPNHE s'est mise en place depuis 2001 et permet au laboratoire de bénéficier d'un stagiaire pour une durée de 6 mois. Ce stagiaire participe pour une partie de son temps à l'administration générale des serveurs et en consacre le reste à une application dans une expérience.

Le soutien aux expériences a été assuré par 5 ingénieurs dont l'un a participé à l'administration générale à raison de 20 % de son temps. Quant au service général, il a été assuré par 6 personnes dont une a consacré environ 20 % de son temps à la mise en place de la base de données de la caméra HESS.

Les développements informatiques réalisés par les informaticiens liés aux expériences sont décrits dans les chapitres traitant de celles-ci.

E. Lebreton.

L'équipe d'informatique :

F. Astesan, M. Berggren,  
N. Bouhaddad, A. Castera,  
M. Detournay, J.-L. Gorrard,  
J.-F. Huppert, E. Lebreton,  
L. Martin, A. Paraiso,  
J. Portes, Z. Strachman,  
P. Warin-Charpentier.

## Services administratifs

Les services administratifs du LPNHE comptent une dizaine de personnes qui travaillent en liaison étroite avec les administrations des Universités Paris 6, Paris 7 et la délégation Paris B du CNRS. Ils sont placés sous la responsabilité d'un administrateur qui assiste la direction du laboratoire.

Leurs tâches sont les suivantes :

- gestion administrative des personnels permanents et temporaires, faisant usage en particulier du logiciel Labintel.
- gestion financière, qui comprend deux pôles principaux : les missions et le matériel. Les crédits du laboratoire proviennent des universités P6, P7 et du CNRS via l'IN2P3. Ils sont gérés à l'aide du logiciel X-Lab et, pour la partie provenant de P7, également avec NABUCO. L'arborescence du système établi par compte et sous compte permet de suivre l'attribution et la consommation des crédits par équipe, par programme et par opération scientifique.
- les missions sont gérées par un bureau spécifique placé sous la supervision d'un physicien. Ce bureau a en charge plus de 1 000 déplacements annuels. L'essentiel du budget est ici constitué de crédits attribués à Paris 6 par l'IN2P3, certaines expériences bénéficiant toutefois d'une gestion directe par l'Institut en raison de dotations spécifiques.
- Les commandes, factures, marchés, importations et exportations de matériel sont traités par le bureau « comptabilité ».
- La gestion de la bibliothèque est assurée sous la responsabilité d'un physicien.
- Un soutien administratif est accordé au DEA « Modélisation et Instrumentation en Physique » et,

dans une moindre mesure, au DEA « Grands Instruments » et au DESS « Capteurs ».

● Enfin l'administration contribue à la diffusion de l'information scientifique en assurant un soutien logistique à l'organisation de séminaires et autres manifestations, ainsi que l'édition de rapports internes, la reprographie de documents, les relations extérieures et la communication.

E. Méphane

### Personnel administratif :

S. Bassava, M. Brissard,  
B. Caraco, I. Cossin, C. Doreste,  
A. Frua-Bernard, S. Gorrand,  
J. Jos, E. Méphane, J. Meurgey.

## Travaux d'aménagement

L'une des salles de réunion a été transformée et équipée en salle de vidéoconférence pendant l'année 2000, afin de permettre aux divers groupes du laboratoire de communiquer facilement avec leurs collaborateurs français et étrangers.

- Le démarrage du contrôle des électrodes du calorimètre à argon liquide du détecteur ATLAS (LHC) a nécessité une amélioration de l'aménagement de la salle de test. Un sas a été installé et la salle bénéficie désormais d'un équipement de climatisation permettant de réguler la température et l'hygrométrie.

- Un réaménagement partiel de la salle d'informatique occupée par le nœud parisien du réseau du Centre de Calcul de l'IN2P3 a eu lieu en 2000. A la fin de cette même année, une panne importante de l'onduleur alimentant ce local a conduit à le remplacer par un nouvel appareil, financé par le CCIN2P3. Le nœud du réseau ayant finalement été transféré au Centre de Calcul de la Recherche du Campus Jussieu (CCR) le local a été transformé en une deuxième salle d'informatique pour le laboratoire. Des travaux d'électricité, de peinture et de revêtement du sol ont été effectués dans les deux salles, et une installation électrique secourue, alimentée par l'onduleur libéré par le CCIN2P3, a été mise en place en 2001.

- Enfin des études ont été effectuées fin 2001 pour l'aménagement des locaux de l'ancien laboratoire du Professeur Zagury (Barre 32/42) qui seraient affectés au LPNHE, dans le cadre de la rénovation actuellement en cours du Campus Jussieu. Ces pièces étant contiguës au laboratoire, une communication directe est envisagée afin que les locaux du LPNHE soient d'un seul tenant.

## Hygiène et Sécurité

La charge d'ACMO (Agent Chargé de la Mise en Œuvre de l'hygiène et de la sécurité) est assurée par un ingénieur d'études du laboratoire. Au cours de ces deux années, l'accent a été mis sur la mise en conformité de la distribution électrique des salles informatiques. Après installation de l'alimentation secourue, un contrôle de mise en œuvre a été effectué par un organisme agréé (APPAVE). Des contrôles bactériologiques réguliers sont effectués sur l'échangeur de l'installation de climatisation afin de s'assurer de son bon état sanitaire. Une « gaine pompier » a été installée dans la salle des machines afin de satisfaire à la demande des services de la Préfecture.

Enfin, l'année 2001 a vu la mise en place au laboratoire d'un Comité Local d'Hygiène et Sécurité (CLHS).

## B. Canton

# Vie du laboratoire

---

## Enseignement et formation

L'enseignement supérieur et le LPNHE

Formation permanente

Stages

Visiteurs étrangers et échanges

## Activités internes et externes

Réunions du vendredi

Biennale du LPNHE

Journées et manifestations diverses

Participation à des instances scientifiques





# Enseignement et formation

---

## L'Enseignement Supérieur et le LPNHE

Le LPNHE est une unité mixte de recherche du CNRS et des Universités Paris 6 (Pierre et Marie Curie) et Paris 7 (Denis Diderot). Une trentaine de ses membres participent à un titre ou à un autre à l'enseignement supérieur dans ces universités : Professeurs et Maîtres de Conférence titulaires, post-docs sur postes d'ATER, doctorants moniteurs, chercheurs et ingénieurs CNRS ; ces derniers enseignent essentiellement en 3<sup>e</sup> cycle, mais aussi dans des Écoles d'Ingénieurs (Polytechnique entre autres). Les enseignants-chercheurs du laboratoire interviennent, quant à eux, à tous les niveaux (du 1<sup>er</sup> au 3<sup>e</sup> cycle) et participent actuellement à la mise en place du Magistère de Physique de Paris 6. La direction de l'UFR de Physique de Paris 6 est assurée par un Professeur du laboratoire, M. Baubillier.

Le laboratoire est un site d'accueil pour quatre formations de 3<sup>e</sup> cycle dont le soutien administratif est assuré par Isabelle Cossin :

- Le DEA Modélisation et Instrumentation en Physique, créé en 1995 à l'initiative de M. Baubillier et actuellement dirigé par M. Boratav, tous deux membres du LPNHE et Professeurs à l'Université Paris 6. Il fait partie de deux Écoles Doctorales : De la Particule au Solide, Modèles et Expériences (Paris 6) et Rayonnement et Environnement (Paris 11). Il est co-habité auprès des trois universités scientifiques (P6, P7, P11) et de l'INSTN (CEA). Ce DEA assure une formation dans les domaines de l'instrumentation, des capteurs et de l'informatique de haut niveau. Ses débouchés sont très variés. La plupart des 15 à 20 étudiants du DEA poursuivent leur formation par une thèse dans des laboratoires de haute technologie de l'Industrie, mais aussi dans les unités de recherche fondamentale des uni-

versités et du CEA, tous secteurs où ils trouvent également des postes soit à la sortie du DEA, soit après leur thèse.

Des chercheurs et des ingénieurs du laboratoire assurent plusieurs cours du tronc commun de ce DEA ainsi que l'initiation des étudiants à l'environnement informatique (UNIX/Linux). Le LPNHE met également à la disposition des étudiants des salles de cours, un ensemble de PC mis en réseau, une salle de conférences où sont organisés en particulier des séminaires hebdomadaires, ainsi qu'un secrétariat et ses infrastructures (bibliothèque, reprographie...).

- Le DEA Physique et Technologie des Grands Instruments lui aussi créé à l'initiative d'un Professeur du LPNHE (Bernard Grossetête, P7) a pour vocation de former les jeunes aux technologies relevant des accélérateurs, lasers de puissance, générateurs de rayonnement synchrotron, tokamaks etc. F. Vannucci, Professeur à l'Université Paris 7 et membre du laboratoire, est responsable de ce DEA pour Paris 7. De même que pour le DEA MIP, le LPNHE offre aux étudiants du DEA GI des salles (cours, séminaires, PC) et l'encadrement informatique.

- Le DEA Champs, Particules, Matière est essentiellement orienté vers la formation de futurs chercheurs. Son programme couvre la physique des particules, la physique nucléaire, et des domaines collatéraux liés à la physique subatomique traditionnelle, soit par des techniques expérimentales (astrophysique des particules) soit par les convergences conceptuelles des méthodes théoriques (physique de la matière condensée).

- Le DESS Physique des Capteurs et Systèmes de Mesure forme des spécialistes capables de concevoir et de mettre en œuvre des capteurs physiques ou physico-chimiques et des systèmes de mesure.

M. Boratav

## Formation permanente

Le laboratoire accorde une grande importance à la formation de ses personnels. Indépendamment des bénéficiaires individuels que chacun peut en retirer, il s'agit d'une nécessité pour maintenir le bon niveau technologique indispensable à l'avenir de la communauté.

Les formations suivies par les personnels pendant les années 2000 et 2001 vont des stages, écoles ou cours organisés par l'IN2P3, les délégations du CNRS et les universités, à des formations plus ou moins individuelles, dispensées par des organismes extérieurs et nécessitées par des situations ponctuelles auxquelles il faut faire face.

Le bilan qui suit, sans être totalement exhaustif, permet de mesurer l'impact des différentes sources de formation permanente auprès des membres du LPNHE.

### IN2P3

Pour ce qui relève de l'organisation de l'IN2P3, 9 agents du LPNHE ont participé à 7 *Écoles thématiques*.

- 4 personnes ont représenté le laboratoire à 12 *journées* organisées à l'intention des *gestionnaires*, chargées de communication ou personnels en charge des problèmes de l'hygiène et de la sécurité.
- 2 ingénieurs informaticiens ont suivi les stages (2 jours) consacrés à la *sécurité informatique*.
- 2 ingénieurs mécaniciens ont suivi les formations aux nouveaux logiciels *CATIA*.
- 2 membres du LPNHE ont suivi une formation *Javascript*.

### Les stages de formation

Les stages de formation ont, quant à eux, concerné tous les domaines d'activité du laboratoire.

### Mécanique (CAO, matériaux)

- 7 personnes ont effectué 91 jours de stages organisés par différentes délégations du CNRS.
- 3 formations ponctuelles (ASPEC, SolidEdge et la programmation d'une machine tridimensionnelle) ont pu être financées par la délégation Paris B ainsi qu'une formation longue de dessin industriel, suivie pendant l'année universitaire dans un GRETA de la région parisienne, par un technicien du LPNHE.

### Informatique

En ce qui concerne les réseaux et systèmes, 8 personnes ont suivi 43 jours de stages et la délégation Paris B du CNRS a financé 2 formations spécifiques (SUN-SOLARIS, WINDOWS 2 000 serveur) pour résoudre avec succès des problèmes ponctuels du groupe informatique.

Pour ce qui est du domaine des logiciels et des langages, conjointement, la délégation Paris B du CNRS et la délégation Michel-Ange ont pu prendre en charge le financement d'un cours de C++ (5 jours) destiné à 15 agents du LPNHE et du PCC.

En outre, un ingénieur informaticien a pu suivre une formation PERL avancé, financée par la délégation Paris B et enfin, le dernier CES du laboratoire a bénéficié de 140 heures de formation en micro-informatique, ce qui lui a permis de se réinsérer après la fin de son séjour au LPNHE.

Plusieurs formations internes ont été mises en place à l'initiative de membres du LPNHE :

- une formation de micro-informatique pour les mécaniciens du LPNHE et du PCC (12 personnes) animée par M. Banner, Laporte, Steyaert et Schwemling.
- une formation HTML (12 personnes) animée par P. Warin.

- une formation EXCEL (10 personnes) animée par M. Banner

#### **Électronique (conception de circuits, CAO)**

10 personnes ont assisté à 57 jours de formation

#### **Administration (gestion, communication, management, préparation aux concours...)**

11 personnes ont assisté à 44 jours de stage, et la délégation Paris B a pu financer une formation XPress à notre bibliothécaire confrontée à la mise en forme d'un certain nombre de rapports dont le dernier rapport d'activité du laboratoire.

#### **Hygiène et sécurité**

6 personnes ont assisté à 6 jours de formation.

#### **Langues**

Notre délégation du CNRS a fait l'effort de mettre en place plusieurs cours d'anglais, soit sous forme de sessions intensives, soit à l'année avec des objectifs ciblés. 8 agents du LPNHE suivent régulièrement ces cours.

#### **Organisation d'écoles et de stages thématiques**

Un certain nombre de membres du LPNHE ont pris la responsabilité de l'organisation d'écoles ou stages : techniques de base des détecteurs.

L'école de techniques de base des détecteurs destinée aux techniciens de toutes les branches d'activité a lieu chaque année avec le même succès depuis 1996 sous la direction de Patrick Nayman qui en a été l'initiateur.

On y développe, sur une semaine, une approche instrumentale des concepts de base nécessaires à la mise en œuvre des détecteurs en physique nucléaire et physique des particules. Patrick Nayman et Christian de la Vaissière interviennent dans les cours de cette école.

#### **École de technologie de l'IN2P3**

Didier Imbault est quant à lui responsable scientifique de l'école de technologie de l'IN2P3 qui a eu lieu pour la première fois en 1997 et qui a elle aussi été reconduite chaque année. Il s'agit dans cette école d'élargir et d'actualiser les connaissances en technologie, en organisation de la conception et de la planification des ingénieurs et projeteurs de bureau d'étude dans les domaines des matériaux et de la mécanique, des assemblages, de la productique, de la cryogénie et des salles blanches. Didier Steyaert a été l'un des intervenants de cette école.

Murat Boratav fait un cours à l'école De la physique au détecteur dans laquelle on peut faire le point sur les thèmes actuels de la physique, les détecteurs et les expériences.

Enfin pour la première fois en 2000, l'école Du détecteur à la mesure a vu le jour sous la direction d'Alain Castera avec deux intervenants du laboratoire M. Astier et Nayman.

[Odile Hamon](#)

## Stages

**D**e part sa situation géographique et son partenariat avec deux Universités scientifiques parisiennes, le LPNHE est, chaque année, le lieu d'accueil de plus d'une vingtaine de stagiaires (25 en 2000 et 22 en 2001) d'horizons très variés. La prise de conscience grandissante dans le milieu universitaire de la nécessité de prendre des contacts le plus tôt possible avec le milieu industriel ou celui de la recherche font que le nombre de candidats à une telle formation augmente chaque année et, malheureusement, dépasse bien souvent les capacités d'accueil du laboratoire.

Ces stages s'adressent pour une majorité aux étudiants de troisième cycle universitaire ou de dernière année d'écoles d'ingénieur et de grandes écoles. Pour ceux-ci ils constituent un véritable commencement du travail de thèse. Nombre d'entre eux poursuivent en effet leur études au sein des groupes qui les ont accueillis. Les sujets abordés dans le domaine de la recherche fondamentale (physique des particules et astrophysique) et de ses aspects expérimentaux, à travers leur participation à de grandes expériences internationales, sollicitent l'intérêt d'étudiants de formations diverses. Ils arrivent soit des DEA de physique appliquée tels que Modélisation et Instrumentation pour la Physique, Grands Instruments, ou de DEA de physique fondamentale tels Champs, Particules, Matière ou des DEA de physique théorique pour lesquels cette formation pratique constitue un complément. On notera également une part de plus en plus importante d'étudiants provenant de toute la France. D'autres étudiants séjournent dans

notre laboratoire pour des durées plus courtes. Il s'agit d'étudiants de premier et second cycles universitaires prenant un premier contact avec le monde de la recherche dans le cadre de leur formation ou par initiative personnelle. Les équipes techniques d'électronique, informatique et mécanique jouent également un rôle formateur en recevant des étudiants d'IUT, de BTS ou d'écoles d'ingénieurs.

Ainsi nous essayons de perpétuer ce qui constitue l'une des missions des laboratoires de recherche : la diffusion de nos connaissances théoriques et techniques à travers la formation par la recherche.

P. Vincent

# Activités internes et externes

---

## Réunions du Vendredi

La réunion du vendredi est un élément très spécifique de la vie du LPNHE. Depuis de nombreuses années, ce forum hebdomadaire auquel l'ensemble du personnel est convié, permet une communication directe entre les chercheurs des différentes équipes, les ITA et la direction.

Le début de chaque réunion est consacré à des questions diverses et à des informations de caractère général. C'est l'occasion pour la direction de faire part au personnel des décisions prises au CNRS, à l'IN2P3 ou dans les Universités de tutelle. Il en résulte parfois des discussions sur l'avenir de la discipline et de ses institutions, d'autant que les membres du laboratoire appartenant à différents conseils ou commissions viennent aussi rendre compte de leurs activités et des réunions auxquelles ils ont assisté. En sens inverse, ils peuvent ainsi répercuter facilement dans ces organismes les opinions de leur collègues du LPNHE. Entre autres sujets concernant la vie propre du laboratoire figure actuellement le déménagement prévu de l'Université Paris 7 sur le site de Tolbiac et la création d'un laboratoire d'Astroparticules sur ce campus.

Cette première partie est suivie par un exposé sur un thème de Physique ou sur une réalisation technique, un compte rendu de

conférence ou le bilan d'activité d'un service.

Enfin, cette réunion constitue aussi un terrain d'entraînement pour les plus jeunes, puisque les doctorants y ont l'occasion de présenter leurs travaux devant un public extérieur à leur équipe. Leurs exposés contribuent ainsi au suivi des travaux de thèse. En outre, quelques séances sont consacrées chaque année à des présentations par les candidats à un poste de chercheur ou d'enseignant-chercheur. Elles constituent pour eux l'occasion d'un premier contact avec le laboratoire pour lequel ils postulent.

[S. Dagoret-Campagne](#)

[F. Hubaut](#)

## Biennale du LPNHE

Le LPNHE organise tous les deux ans un séminaire de trois jours dont le but est de permettre aux membres du laboratoire de faire un bilan des actions scientifiques, techniques ou organisationnelles qui y sont menées, ainsi que de réfléchir à ses orientations futures. La biennale de l'an 2000 a eu lieu à Dinard du 5 au 8 septembre dans le cadre d'un manoir breton du seizième siècle qui sert aujourd'hui de centre d'hébergement à la caisse d'allocations familiales d'Ile-et-Vilaine.



*Biennale du LPNHE à Dinard du 5 au 8 septembre 2000*

La session 2000 a réuni une soixantaine de personnes environ, physiciens, ingénieurs et administratifs, dont la présence a permis des discussions vivantes et animées et des débats approfondis sur le fonctionnement de notre laboratoire.

Le séminaire a débuté par un bilan des deux années précédentes présenté par l'ensemble des groupes de physique, des services techniques et de l'administration. La partie consacrée aux perspectives du laboratoire a été l'occasion de réfléchir à une implication dans les projets d'expérience auprès d'un futur collisionneur linéaire ainsi que dans un projet d'expérience à Brookhaven visant à étudier l'interaction forte. Dans la perspective de l'ouverture de notre discipline vers la participation à des expériences spatiales, nous avons accueilli Michel Buenerd de l'ISN de Grenoble venu nous parler de la construction du détecteur AMS embarqué sur la navette et destiné à la station spatiale internationale.

Afin d'assurer les débats les plus fructueux possibles, la biennale a été précédée d'un travail préparatoire important. Des groupes de travail ont été mis sur pied afin de réfléchir et faire des propositions sur trois thèmes clefs : formation et évaluation du travail, rôle et organisation des différentes manifestations internes au laboratoire

(réunion hebdomadaire, séminaires...), accueil des personnels temporaires (thésards, post-doc, stagiaires, CDD...) et des personnels permanents (CNRS, Universités). Le travail accompli par chaque groupe a donné lieu à une synthèse orale lors du séminaire et à la rédaction de rapports écrits détaillant les situations actuelles et les propositions avancées. Par ailleurs, plusieurs physiciens avaient préparé des présentations de synthèse concernant les projets dans lesquels le laboratoire pourrait éventuellement s'investir. Depuis cette biennale, le laboratoire s'est engagé dans l'étude préparatoire au collisionneur linéaire et dans une expérience embarquée (SNAP).

B. Laforge

## Journées et manifestations diverses

L'Amphithéâtre « Bernard Grossetête » situé dans les locaux du LPNHE sur le campus de Jussieu a accueilli un grand nombre de visiteurs au cours des années 2000 et 2001.

De nombreuses manifestations, rencontres, conférences, réunions nationales et internationales s'y sont déroulées. Parmi les « journées » nous signalerons :

- la journée d'information des jeunes doctorants organisée par l'IN2P3 le 9 mai 2000.
- la journées de formation « Pensions » organisée par le Bureau de la Formation permanente de l'Université Paris 7 les 23, 24 et 25 octobre 2000.
- une journée sur la Sécurité des personnes et des biens et les techniques de surveillance, le 13 mars 2000. En 2001, deux journées ont encore été organisées sur ce thème.
- la Journée IN2P3 annuelle de l'IAO-CAO, le 11 décembre 2000.
- la « Journée Systèmes Infinis » organisées par le Laboratoire LIAFA le 27 mars 2001.
- les Matinales de l'École Doctorale « Inter. Bio » dirigée par M. Paul VIGNY, rassemblant une centaine d'étudiants et organisées sur des thèmes relatifs à la professionnalisation des doctorants. Celle qui s'est déroulée au LPNHE le 7 mars 2001 avait pour thème « La recherche en sciences de la vie et aux interfaces dans le secteur privé ».
- enfin, la réunion d'un groupe de travail des UFR médicales des Universités Paris 5 et Paris 6, sous la haute autorité de leurs Présidents, les 22 et 23 juin 2001.

Le LPNHE a aussi accueilli, durant ces deux années, des colloques, conférences ou débats organisés par des laboratoires des Universités Paris 6 et Paris 7 parfois éloignés de notre discipline :

- au cours de l'année 2000, plusieurs exposés sur « l'histoire et la philosophie des sciences », cette série se poursuivant d'ailleurs dans l'année académique 2001-2002

- une conférence intitulée « Mathématiques discrètes et applications à la physique » organisée par le laboratoire de Physique Théorique de la Matière Condensée de l'Université Paris 7.

- un colloque pour la « définition de nouvelles lignes de lumière sur la nouvelle source de rayonnement synchrotron SOLEIL » organisée par l'Université Paris 6.

- une conférence sur « La science au service de l'Art » le 17 juillet 2001.

Outre ces manifestations, de nombreuses thèses et habilitations à diriger des recherches ont été soutenues dans notre amphithéâtre. Des comités d'évaluation du CNRS s'y sont tenus, ainsi que des réunions des commissions de spécialistes de Paris 6 et Paris 7. La réunion du Conseil Scientifique de l'IN2P3 du 9 mars 2001 s'y est également déroulée.

Les séminaires conjoints LPNHE-PCC (Collège de France) s'y tiennent environ 2 fois par mois, mais de nombreux séminaires extérieurs y sont également organisés. Lors des « Journées de la Science » qui se tiennent habituellement à l'automne, des conférences destinées au grand public et aux classes de lycée en visite au laboratoire y sont données par certains de nos physiciens.

L'amphithéâtre Bernard Grossetête est très apprécié pour sa situation géographique et son confort. Le LPNHE attache une grande importance à l'accueil de ses utilisateurs nationaux et internationaux.

J. Jos



## Participation à des instances scientifiques

- Pierre Astier
  - Groupe de travail Astrophysique du CNES
  - Comité de rédaction des « Images de la Physique »
- Jean-Eudes Augustin
  - Président du Conseil Scientifique de l'IN2P3 1996-2000
  - Membre du Program Advisory Committee du JINR Dubna 1995-2000
  - Comité de direction du LIP Lisbonne 1998
  - 29<sup>e</sup> section locale du CNU Université Paris 11 1998
  - 29<sup>e</sup> section locale du CNU Université Paris 8 2001
- Michel Baubillier
  - Section 03 du Comité National (bureau)
  - Directeur de l'UFR de physique de Paris 6
- Pierre Billoir
  - Président de la commission de la 29<sup>e</sup> section de Paris 6
  - Directeur de l'UFR de physique de Paris 6
- Murat Boratav
  - Commissions de Spécialistes de la 29<sup>e</sup> section de Paris 6 et Paris 11
  - Conseil scientifique du GDR « Phénomènes Cosmiques de Hautes Énergies »
- Isabelle Cossin
  - Comité éditorial du journal du CNRS
- Jacques Dumarchez
  - Section 03 du Comité National
  - Conseil Scientifique de l'IN2P3
  - Conseil de Direction de l'IN2P3
  - Comité d'évaluation du laboratoire Leprince-Ringuet
- Frédéric Kapusta
  - Conseil d'Administration de Paris 6
  - Comité international d'organisation des conférences PhotonXX
- Reynald Pain
  - Conseil scientifique de l'UFR de Paris 7
- Aurore Savoy-Navarro
  - Panel de l'ICFA « Instrumentation Innovation and Development Panel »
  - Conseil scientifique du GDR de Supersymétrie
  - Coordinateur principal du réseau européen RTN sur « Probe for New Physics »
- Philippe Schwemling
  - 29<sup>e</sup> section du CNU (1999-2003)
  - Vice-président B de CSE 29 Paris 7 (mars à septembre 2001)
  - Directeur adjoint de l'UFR de physique de Paris 7 (depuis septembre 2001)
- François Vannucci
  - Comité scientifique du Programme National de Cosmologie (1998-2002)
  - Commission de spécialistes section 29 de Paris 7
  - Conseil et conseil scientifique de l'UFR de physique Paris 7

# Diffusion de l'information scientifique

---

Vulgarisation

Communication

Relations avec l'industrie, contrats européens, valorisation

Séminaires PCC/LPNHE

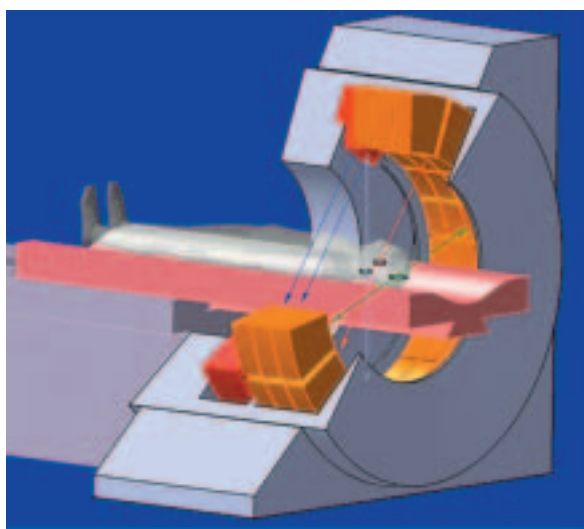
Séminaires donnés à l'extérieur

Communications à des conférences

Habilitations et Thèses

## Vulgarisation

Trois physiciens du LPNHE sont les auteurs avec MM. Georges Audi (IN2P3/CSNSM) et Yves Sacquin (CEA-DSM) d'un site Internet consacré à la radioactivité et à ses applications. Ce site destiné au grand public cherche à répondre à une



*Illustration du site montrant l'utilisation d'isotopes radioactifs dans des techniques d'imagerie médicale de pointe comme la tomographie par émission de positons.*

attente de la Société en particulier à travers les applications médicales et les problèmes posés par l'énergie nucléaire.

Édité par « EDP-Sciences » avec le soutien de l'IN2P3 et du CNRS/Images-media, il a été ouvert au public en octobre 2001. Une première version en circuit fermé avait été mise en service à l'occasion de l'exposition « La radioactivité, une facette de la nature » qui s'est tenue au Palais de la Découverte, ainsi qu'à Wiesbaden et à Milan, fin 2000-début 2001.

Cet ouvrage se veut aussi bien informatif que pédagogique. Quatre niveaux de lecture permettent une grande accessibilité aux moins avertis, mais également l'obtention d'informa-

tions scientifiques plus approfondies pour ceux qui désirent aller plus loin. Le site explique le phénomène physique de la radioactivité, raconte l'histoire de sa découverte, et expose ses applications: dans la vie quotidienne, chez le médecin, au musée, au laboratoire, dans l'industrie. De nombreuses pages sont consacrées à l'énergie nucléaire et au devenir des déchets radioactifs.

Le site comporte maintenant plusieurs centaines de pages abondamment illustrées, accompagnées de notes explicatives et d'un glossaire. Il est régulièrement enrichi de nouvelles pages et de nouvelles illustrations. Près de 200 000 accès aux pages du site sont effectués chaque mois, en provenance de nombreux pays.

[Jeanne Laberrigie-Frolow](#)

[Fabrice Hubaut](#)

[Christian de la Vaissière](#)

<http://www.laradioactivite.com>

## Communication

La diffusion des connaissances dans le grand public et en particulier en direction des jeunes est de plus en plus souvent considérée comme faisant partie de la mission des laboratoires de recherche. En ce qui concerne le LPNHE, elle s'exerce non seulement à travers des actions récurrentes, mais aussi à travers des actions ponctuelles souvent issues d'initiatives individuelles soutenues ou relayées par le laboratoire.

### Fête de la Science

Le thème choisi en 2000, « la physique des particules, ou de la naissance à l'avenir de l'Univers », insistait sur les rapports entre infiniment petit et infiniment grand, entre les connaissances portant sur la structure intime de la matière acquises auprès des accélérateurs de particules et celles qui ont trait à la structure de l'Univers, à son évolution et particulièrement à sa naissance, qui sont elles, issues des « expériences d'astroparticules » et de la cosmologie observationnelle. Les visiteurs (grand public, scolaires, universitaires) étaient guidés par un membre du laboratoire à travers une exposition mise en place à cette occasion, encadrés dans des ateliers techniques illustratifs, puis dirigés vers une visite du petit accélérateur du Groupe de Physique des Solides de Jussieu avec lequel un partenariat avait été établi. Plus de sept cents personnes ont ainsi visité le laboratoire en trois jours, mobilisant près de trente chercheurs et ITA coordonnés par I. Cossin. Conséquence des attentats de septembre, le laboratoire a dû annuler en dernière minute sa participation à la Fête de la Science en 2001.

### Action dans les lycées

L'IN2P3 a pris l'habitude depuis plusieurs années de coordonner l'inter-

vention de physiciens dans les lycées (conférences NEPAL) et plusieurs chercheurs du laboratoire sont régulièrement sollicités pour des exposés introductifs à certains aspects de la physique des particules ou des astroparticules dans les lycées de la région parisienne: physique des neutrinos, problème de la masse et physique au LHC, supernovae, etc.

Plus récemment, un certain nombre de physiciens du laboratoire ont été sollicités par des étudiants des classes préparatoires aux grandes écoles devant préparer des TIPE (Travaux d'Initiative Personnelle Encadrés) sur des sujets touchant à nos domaines de recherche. Ces interactions s'accompagnent parfois d'une visite au laboratoire et d'une sensibilisation aux professions de la recherche.

Autre exemple d'intervention en milieu scolaire: la participation de trois physiciens ou ingénieurs du laboratoire à des « Passion-Recherche ». Il s'agit de mener avec une classe entière et tout au long d'une année scolaire un projet (fabrication d'une maquette de détecteur, étude de compatibilité électromagnétique.) qui permet ici encore d'aborder les méthodes et les outils de la recherche.

### Divers

Le laboratoire participe pleinement à l'organisation (secrétariat et comité) des journées PIF (Physique et Interrogations Fondamentales) de la SFP. En 2000, PIF6 portait sur « le siècle des quanta » et a rassemblé à la Bibliothèque Nationale plus de quatre cents personnes, pour moitié physiciens et pour moitié public averti.

Le laboratoire accueille ponctuellement des groupes d'intervenants d'associations à caractère scientifique (« les petits débrouillards ») pour des visites/échanges entrant dans le cadre de leur formation.

Enfin, un certain nombre d'initiatives



*Expérience d'électrostatique présentée à un groupe d'élèves lors de la fête de la science.*

individuelles ressortissent également à la diffusion des connaissances, comme la participation à des émissions de radio ou de télévision, à des « bars des sciences », la conception de films scientifiques ou même la publication de romans scientifiques. Il convient de noter la grande activité déployée en ce domaine par certains anciens, au premier rang desquels Jeanne Laberrigue et Michel Crozon. L'ensemble des initiatives de communication du laboratoire est coordonné par Isabelle Cossin qui relaye aussi localement la communication institutionnelle de l'IN2P3, du CNRS et des Universités.

#### Conférences grand public

- J.-E. Augustin: « Le collisionneur électron-positron LEP du CERN », Magistère de Physique de Lyon, décembre 2000.
- M. Boratav: « Rayons cosmiques d'ultra-haute énergie », Science en Fête, Université Paris 6, octobre 2000.
- M. Boratav: « Rayons cosmiques d'ultra-haute énergie », Société Astronomique de France, Paris, janvier 2000.
- F. Vannucci: « Astrophysique, Physique des Particules et Astroparticule », Université de Tous les Savoirs, juillet 2000.
- F. Vannucci: « Les neutrinos », Palais de la Découverte, avril 2000.

#### Interventions dans les écoles

Les membres du laboratoire interviennent dans des écoles scientifiques et techniques.

M. Boratav et A. Letessier-Selvon sont intervenus à la « Meudon School on Ultra High Energy Cosmic Ray » en juin 2000. F. Le Diberder a présenté les Résultats de BABAR sur la violation de CP au « SLAC Summer Institute » de 2001. R. Vinh Mau a exposé la « théorie des forces nucléaires »

aux « Master Classes in Nuclear Physics 2000 » en juin 2000 à Séville. A. Savoy-Navarro a donné un cours « Standard versus Beyond Standard » au « Corfu Summer Institute on Elementary Particle Physics » en août 2001. U. Bassler et I. Cossin ont participé à l'organisation des « Journées Jeunes Chercheurs » de Saumur en décembre 2000. I. Cossin s'occupe régulièrement du secrétariat des « Rencontres de Moriond » et des « Rencontres de Blois ».

M. Boratav est intervenu à deux reprises à l'école d'instrumentation de l'IN2P3 « De la Physique au Détecteur » qui se tient à Roscoff. A. Castera a conçu et organisé l'école IN2P3 « Du Détecteur à la mesure » qui s'est tenue à Aussois en décembre 2000. P. Astier y a exposé les techniques de mesure d'impulsion, et P. Nayman les principes de la conversion analogique-digital. D. Imbault est responsable de l'école de technologie de l'IN2P3 et D. Steyaert y intervient. P. Nayman a conçu « L'école de technique de base des détecteurs », à laquelle lui-même et C. de la Vaissière interviennent. A. Savoy-Navarro a organisé l'école d'instrumentation de l'ICFA qui s'est tenue en Afrique du Sud en avril 2001.

Isabelle Cossin

Jacques Dumarchez

## Relations avec l'industrie, contrats européens, valorisation

**D**urant ces deux années, Le LPNHE a d'abord bénéficié de deux contrats antérieurs. Le premier concerne la création de la société INUP qui a permis le remboursement des sommes qui avaient été avancées par le laboratoire durant la période « d'incubation », ainsi que la rémunération prévue dépendant du chiffre d'affaires de cette société. Le succès de cette création d'entreprise dans le domaine du calcul parallèle a conduit à son acquisition rapide.

Le second concerne la fin du contrat européen ESPRIT dénommé SUMMIT (Silicon Substrate Multichip Modules for Innovative products) mis en place par A. Savoy-Navarro avec l'IPN Lyon en collaboration avec des centres de recherche en microélectronique: CNM (Espagne), NMRC (Irlande), ETHZ (Suisse) et des Industriels: THALES/DETEXIS, DICRYL (Espagne), SIBET GmbH (Allemagne).

Le LPNHE a été en 2001 l'hôte de la thèse d'Elena Pernigotti, réalisée au CERN et à Pise et co-dirigée par A. Savoy-Navarro. Elle concernait les applications à la radiographie digitale des détecteurs GaAs pixel et de leurs systèmes de lecture VLSI, avec applications à la mammographie.

Enfin un contrat a concerné la fourniture à un laboratoire allemand d'une carte électronique développée pour l'expérience Atlas.

En ce qui concerne les contrats européens, il s'est agi de prendre place dans le programme « Amélioration du Potentiel Humain de Recherche » du 5<sup>e</sup> PCRDT.

Le laboratoire a d'abord bénéficié d'une bourse Marie Curie qui avait débuté dans les années précédentes. Plusieurs dossiers de demandes de bourses nouvelles et de RTN ont été mis en œuvre.

Deux réseaux de recherche et de formation (RTN, Research and Training Networks) du dernier appel d'offres du 5<sup>e</sup> PCDRT ont été approuvés:

le LPNHE est membre d'un RTN sur les « Supernovæ de type Ia » dont la coordination est à Munich.

A. Savoy-Navarro a mis en place un RTN dont la coordination est au LPNHE. L'intitulé concerne « la troisième génération comme sonde de la nouvelle physique: approche expérimentale et technologique ». Il a été très bien reçu par ses rapporteurs. Il concerne neuf nationalités.

Chacun de ces réseaux permettra d'accueillir des visiteurs étrangers de niveau Postdoc durant plusieurs années.

[Jean-Eudes Augustin](#)

[Aurore Savoy-Navarro](#)

## Séminaires LPC/LPNHE

Organisés conjointement par le LPC (Collège de France) et le LPNHE.

### Année 2000

*Jeudi 27 janvier 2000* - Tatsuya Nakada (CERN)

- « The LHCb experiment : motivation and current status ».

*Jeudi 3 février 2000* - Francois Bouchet (IAP)

- « Corps noir cosmologique et autres fluctuations millimétriques : physique et intérêt cosmologique ».

*Jeudi 10 février 2000* - Marc Besancon (CEA Saclay)

- « Les états de Kaluza-Klein aux collisionneurs : pourquoi - comment ? ».

*Jeudi 2 mars 2000* - Alessandro De Angelis (INFN Trieste et Université de Udine)

- « Interconnection effects in the pair production of W bosons ».

*Jeudi 16 mars 2000* - Philippe Gris (Fermi National Accelerator Laboratory)

- « Aspects de la calorimétrie de CDF II ».

*Jeudi 23 mars 2000* - Stephen Schrenk (Virginia Polytechnic Institute and State University)

- « Physics Outlook at Belle ».

*Jeudi 6 avril 2000 (16 h 30)* - Fabio Sauli (CERN)

- « Development and applications of the gas electron multiplier (GEM) ».

*Vendredi 14 avril 2000* - Marta Felcini (ETH Zurich)

- « A la recherche de l'« au-delà » : qu'a-t-on trouvé ? ».

*Jeudi 20 avril 2000* - Suzanne Gascon (IPN Lyon)

- « La recherche de nouveaux phénomènes au LHC : Récentes perspectives ».

*Mercredi 3 mai 2000* - John Ellis (CERN)

- « Physique des particules et cosmologie ».

*Jeudi 11 mai 2000* - Michael Doser (CERN)

- « La physique de l'antihydrogène : l'expérience ATHENA ».

*Jeudi 22 juin 2000* - Giovanni Carugno (INFN Padova)

- « Infrared Scintillation in Gases, liquids and Crystals ».

*Jeudi 6 juillet 2000* - Henry Frisch (Enrico Fermi Institute, University of Chicago)

- « Higgs Searches at the Tevatron ».

*Jeudi 14 septembre 2000* - Danilo Zavrtanik (Nova Gorica Polytechnic, Slovénie)

- « Experimental tests of T and CPT violations ».

*Lundi 25 septembre 2000* - Leslie Groer (Columbia)

- « The D0 Calorimeter Upgrade ».

*Jeudi 12 octobre 2000* - Marumi Kado (CERN)

- « Du nouveau sur la recherche du boson de Higgs ? ».

*Jeudi 26 octobre 2000* - Tord Ekelof (Université d'Uppsala, Suède)

- « Recent progress in RICH detector developments ».

*Jeudi 9 novembre 2000* - Henri Videau (LPNHE École Polytechnique)

- « Un détecteur pour étudier le Higgs à TESLA ».

*Jeudi 23 novembre 2000* - Éric Aubourg (C.E.A. Saclay)

- « Archéoastronomie égyptienne. Le site de Dendera ».

### Année 2001

*Jeudi 11 janvier 2001* - Frederic Daigne (MPI, Garching, Allemagne et Institut d'Astrophysique de Paris)

- « Les sursauts gamma : des ondes de chocs dans un vent ultrarelativiste ? ».

*Jeudi 25 janvier 2001* - Emilio Picasso (Scuola Normale Superiore, Pisa)

- « A new approach to detect high frequency gravitational waves ».

*Jeudi 8 février 2001* - François Meyer (Observatoire de Besancon)

- « Applications scientifiques du système GPS en 2001 et au-delà ».

*Jeudi 8 mars 2001* - Daniel Treille (CERN)

- « La brisure de la Symétrie Electrofaible : état des lieux après LEP et perspectives ».

*Jeudi 5 avril 2001* - Olivier Napoly (CEA/DSM/DAPNIA SEA - Saclay)

- « Le collisionneur linéaire supra-conducteur TESLA ».

*Jeudi 19 avril 2001* - Rob Pisarski (BNL et LPTHE)

- « RHIC crosses the Rubicon ».

*Jeudi 3 mai 2001* - Albert de Roeck (CERN)

- « CLIC as an option for a future collider at CERN ».

*Jeudi 17 mai 2001* - Ken Ganga (Caltech et PCC College de France)

- « New Cosmological Results from the CMB and BOOMERanG ».

*Jeudi 7 juin 2001* - Patrick Roudeau (LAL Orsay)

- « Le projet CLEO-C d'usine Tau/Charme ».

*Jeudi 21 juin 2001* - Don Groom (Lawrence Berkeley National Laboratory)

« The Shocking Red LBNL CCD's ».

*Lundi 25 juin 2001* - Alexander Studenikin (Department of Theoretical Physics, Moscow State University)

- « Neutrino Oscillations in Moving and Polarized Matter under the Influence of Electromagnetic Fields ».

*Jeudi 4 octobre 2001* - Gregorio Bernardi (LPNHE-Paris)

- « Résultats récents de Physique au-delà du Modèle Standard par l'expérience D0 ».

*Jeudi 18 octobre 2001* - Annie Lemarchand (LPTL-Paris)

- « Fluctuations et résonance stochastique ».

*Jeudi 15 novembre 2001* - Philippe Charpentier (CERN)

- « La Grille, solution pour le calcul pour le LHC ? ».

*Jeudi 13 décembre 2001* - Paul Grannis (State University of New York at Stony Brook)

- « Physics at the e+e- Linear Collider ».

*Mercredi 19 décembre 2001* - Laurent Vacavant (Lawrence Berkeley Laboratory)

- « Dimensions supplémentaires dans ATLAS ».

*Jeudi 20 décembre 2001* - Jacques Chauveau (LPNHE Paris)

- « Violation de CP dans les désintégrations des mésons B: perspectives après les premiers résultats des usines à mésons B ».

## Séminaires donnés à l'extérieur

- J. Abdallah: « Search for long lifetime Stops or sbottoms at DELPHI at sqrt(s) from 189 to 208 GeV », DELPHI Forum au CERN, novembre 2001.

- J.-E. Augustin: « La découverte du J/Ψ », Collège de France, mars 2000.

- M. Banner: « La découverte du W dans UA2 », Collège de France, avril 2000.

- U. Bassler: « H1 Structure Function Measurements at HERA », Université de Rochester, États-Unis, février 2000.

- G. Bernardi: « État et Perspectives pour l'expérience D0 », LPC Clermont-Ferrand, France, décembre 2000.

- J. Dumarchez: « Les neutrinos », Université de Kaiserslautern, Allemagne, juin 2000.

- A. Letessier-Selvon: « Les Rayons Cosmiques d'Énergies Ultimes », In2p3, janvier 2001.

- A. Letessier-Selvon: « Les Rayons Cosmiques d'Énergies Ultimes », Université de Montpellier, juin 2000.

- A. Letessier-Selvon: « L'Observatoire Auger », Observatoire de Strasbourg, 31 mars 2000.

- B. Loiseau: « Diffusion pion-deuteron à énergie nulle et valeur précise de la constante de couplage pion-nucléon », Groupe de Physique Théorique, IPN, Orsay, janvier 2000.

- B. Loiseau: « Two-pion exchange contribution to proton-proton scattering at 90 deg. from 0 to 12 GeV/c », H. Niewodniczanski Institute of Nuclear Physics, Cracovie, Pologne, novembre 2001.

- J. Ocariz: « Recent results on CP violation with the BABAR detector », Université de Geneve, décembre 2001.

- L. Roos: « Le détecteur BABAR: premières prises de données et perspectives », IPN Lyon, janvier 2000.

- A. Savoy-Navarro: « Are We Entering Into the Higgs Sector ? », Institut de Physique de l'Université de Pise, décembre 2000.

- A. Savoy-Navarro: « CDFII d'octobre 2000 à octobre 2001 », GDR de SUPERSYMETRIE à l'IPNL-LYON, novembre 2001.

- A. Savoy-Navarro: « DELPHI: Review of the last results », LEP-Jamboree au CERN, juillet 2001.

- A. Savoy-Navarro: « Imagerie Numérique pour la Mammographie basée sur un Détecteur à Pixels en GaAs », Journée IN2P3-CNRS Imagerie Médicale, Paris, janvier 2000.

- A. Savoy-Navarro: « La Fenêtre Supersymétrique au Tevatron », DAPNIA-CEA Saclay, mai 2000.

- A. Savoy-Navarro: « Revue Expérimentale LEP/Tevatron », Journées de la Physique Théorique en France, Montpellier, janvier 2000.

- A. Savoy-Navarro: « SUSY at DELPHI, LEP – 200, LEP



- 2000 and LEP – LEGACY », Joint Seminar on Experimental and Theoretical Physics a FERMILAB (USA), mars 2000.
- J. Stark: « Erste BABAR Messungen zur Lebensdauer von B Mesonen », Univ. Dresde, novembre 2000.
- J. Stark: « Measurement of the B0 and B+ lifetimes at BABAR », SLAC, juin 2001.
- F. Vannucci: « Detecting high energy neutrinos », Palerme, octobre 2001.
- F. Vannucci: « Euso et Eusino », Grenoble, Montpellier, Juin et octobre 2001.
- F. Vannucci: « High energy cosmic rays and detection of neutrinos », Boston Univ., LBL Berkeley, SLAC, Tokyo, Taipei Academia Sinica, août 2000.
- F. Vannucci: « Rayons cosmiques de haute énergie », CPPM, Marseille, juin 2000.
- R. Vinh Mau: « Glueball intrusion in the scalar-isoscalar meson sector », Institut für Kern Physik, Jülich, octobre 2001.
- R. Vinh Mau: « Possible cosmological implications of the quark-hadron phase transition », LBL, Berkeley, août 2001.
- R. Vinh Mau: « Quark cluster models and the NN interaction », Institut für Theor. Physik, Tübingen, juin 2001.

## Communications à des conférences

- P. Astier: « Dark Energy », Higgs and Supersymetry, Orsay, mars 2001.
- P. Astier: « Measuring Dark Energy », EURO-GDR SUSY, Aix-La-Chapelle, juin 2001.
- P. Astier: « Measuring Dark Energy », QCD-Paris, Paris, juin 2001.
- P. Astier (SCP Collab.): « High redshift supernovae to measure cosmological parameters », Matter in the Universe, Berne, mars 2001.
- P. Astier: « Search for type Ia supernovae beyond  $z=1$  at CFHT », Rencontres de Moriond, Les Arcs, janvier 2000.
- Savoy-Navarro, A. : « Study of a Silicon External Tracker », Second ECFA-DESY Extended Studies for a Linear Collider, Cracow (Pologne), septembre 2001.
- U. Bassler: « Electroweak Measurements at the Tevatron », The XXXVth Rencontres de Moriond: Electroweak Interactions and Unified Theories, Les Arcs, France, mars 2000, publié dans les comptes-rendus (J. Trân Thanh Vân ed., World Scientific.)
- U. Bassler: « MC Tuning: The HERA Experience », Monte Carlo Generator Physics for Run II at the Tevatron, Fermilab, Etats-Unis, avril 2001.
- U. Bassler: « QCD Aspects in W/Z Events », 8th International Workshop on Deep Inelastic Scattering, Liverpool, Grand Bretagne, avril 2000, publié dans les comptes-rendus (J. Gracey et T. Greenshaw ed., World Scientific.)
- M. Berggren: « Stau Searches at LEP », Tau 2000, Victoria, BC, Canada, septembre 2000.
- M. Boratav: « Cosmic Rays from the knee to the toe », Semaine de l'Astrophysique Française (SF2A), Lyon, mai 2001.
- M. Boratav: « Experimental review talk », Physics and Astrophysics of Extra Dimension, Collège de France - Paris, mai 2001.
- M. Boratav: « High energy cosmic rays: an introduction », 6th International Workshop on Topics in Astroparticle and Underground Physics (TAUP99), Paris, septembre 1999, publié dans Nucl. Phys. B (Proc. Supp.) 97 (2000) 399.
- M. Boratav: « Pierre Auger Observatory: Status and Prospects », International Workshop on Extremely High Energy Cosmic Rays - Experiments, Theories and Future directions, ICRR Kashiwa Campus (Tokyo, Japon), mars 2001, publié dans Journal of the Physical Society of Japan 70 (2001) 164-169.
- M. Boratav: « Quasars or GUT: probing theories with cosmic rays », From the Smallest to the Largest Distances, Institute of Theoretical and Experimental Physics, Moscou, Russie, mai 2001.
- M. Boratav: « The highest energy cosmic rays », ESA-CERN workshop, CERN, avril 2000.
- M. Boratav: « Ultra-high energy cosmic rays: Occam's razor to probe old models or new theories », Results and perspectives in new physics. Les Rencontres de Physique de la Vallée d'Aoste, La Thuile, mars 2001.
- W. Da Silva: « Fast luminosity measurement at a  $\gamma\gamma$  collider », PHOTON 2001 14 International Conference on the Structure and Interactions of the Photon including the International Workshop on Photon-Photon Collision, Ascona, Suisse, septembre 2001.
- W. Da Silva: « Progress towards a complete  $\gamma\gamma \rightarrow 4$ / Monte Carlo », PHOTON 2000 International Conference on the Structure and Interactions of the Photon, Ambleside, Angleterre, août 2000, publié dans AIP Conference proceedings 571 (2001) 430-435.
- W. Da Silva: « Towards a complete  $\gamma\gamma \rightarrow 4$ / Monte Carlo », GG200, International Workshop on High Energy Photon Colliders, DESY, Hambourg, juin 2000, publié dans Nucl. Instr. Meth. A 472 (2001) 185-188.
- J. Dumarchez: « Les oscillations de neutrinos », Congrès de la Société Française de Physique, Strasbourg, juillet 2001.
- S. Fabbro: « The distant type Ia supernova rate », Rencontres de Moriond, Les Arcs, janvier 2000.

- D. Hardin : « A supernova search  $z=0.2-0.4$  », Rencontres de Moriond, Les Arcs, janvier 2000.
- F. Hubaut : « Implementation of a Serial Protocol for the Liquid Argon Atlas Calorimeter (SPAC) », IEEE NSS/MIC Conference, Lyon, octobre 2000, publié dans IEEE Trans. Nucl. Sci. 48 (2001) 1254.
- M. Krasny : « A detector design for a generic QCD facility », Snowmass workshop on the future of High Energy Physics, Snowmass, Colorado, juillet 2001.
- M. Krasny : « eA Physics », Physics of Proton-Nucleus collision at RHIC, Brookhaven, October 2000.
- M. Krasny : « eRHIC-RHIC interface and straw design of the IP12 interaction zone », Second eRHIC workshop on eA and polarized ep Collider Physics, Yale (New Heaven), April 2000.
- M. Krasny : « Future QCD experimental research program at BNL », International Workshop on Low-x Physics, Cracow, Poland, juin 2001.
- M. Krasny : « Physics of eA at eRHIC », Second eRHIC workshop on eA and polarized ep Collider Physics, Yale (New Heaven), April 2000.
- M. Krasny : « Physics with Lepton-Ion collider », Snowmass workshop on the future of High Energy Physics, Snowmass, Colorado, juillet 2001.
- M. Krasny : « Relation between pp, pA, AA and eP, eA research programs », Gordon-2001 Conference, Newport, Rhode Island, juillet 2001.
- M. Krasny : « Selected design issues of a dedicated facility for generic QCD studies », Trento Workshop on Spin Physics, Trento, Italy, juillet 2001, publié dans Nucl. Phys. Proc. Suppl. 105 : 185-189, 2002.
- B. Laforge : « Implementation of a Serial Protocol for the Liquid Argon Atlas Calorimeter (SPAC) », LEB2000, 6th Workshop on Electronics for LHC Experiments, Cracovie, septembre 2000, publié dans CERN 2000-010 CERN/LHCC/2000-041, Proceedings of the Sixth Workshop on Electronics for LHC Experiments.
- B. Laforge : « Testing Extra Dimensions Using Renormalization Group Equations », Euro-GDR « SUPER-SYMMETRY », Aix la Chapelle, juin 2001.
- H. Lebbolo : « The DØ Calorimeter Upgrade », IEEE 2000, Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, Lyon, France, octobre 2000, publié dans les comptes-rendus (J. Valentine ed., TNS-NSS.)
- A. Letessier-Selvon : « Establishing the GZK cutoff with Ultra High Energy Tau Neutrinos », Observing Ultra High Energy Cosmic Rays From Space and Earth, Puebla, Mexique, 9-12 Aout 2000, publié dans AIP conf. Proc. Vol. 566, 157.
- A. Letessier-Selvon : « Highest Energy Cosmic Rays and the Auger Observatory », 7th Taipei Astrophysics workshop on Cosmic Rays in the Universe, Taipei, Taiwan, 18 octobre 2000, publié dans ASP conf. Series Vol. 241, 27.
- A. Letessier-Selvon : « Highest Energy Cosmic Rays », IVth Rencontres du Vietnam, Hanoi, Vietnam, 19 juillet 2000, publié dans Physics at Extreme Energies, The Gioi Ed. p143.
- A. Letessier-Selvon : « Neutrinos and the Highest Energy Cosmic Rays », Neutrino 2000, XIX International conference on Neutrino Physics and Astrophysics, Sudbury, Canada, 16 juin 2000, publié dans Nucl. Phys. B91, 473.
- A. Letessier-Selvon : « Neutrino Sensitivity and Background Rejection of the Auger Observatory », ICRC 2001, Hamburg, Allemagne, août 2001.
- A. Letessier-Selvon : « Photon/Hadron Separation with the Auger Observatory », ICRC 2001, Hamburg, Allemagne, août 2001.
- A. Letessier-Selvon : « Ultra High Energy Cosmic Rays », HEP-MAD'01, Antananarivo, Madagascar, octobre 2001.
- B. Loiseau : « Application of Roy's equations to analysis of pion-pion experimental data », International Symposium on Meson-Nucleon Physics and the Structure of the Nucleon (MENU 2001), Washington D.C., Etats-Unis, juillet 2001, publié dans  $\pi$ N News Letter N<sub>16</sub>, December 2001.
- B. Loiseau : « Properties of scalar-isoscalar mesons from multichannel interaction analysis below 1800 MeV », 15th Particle And Nuclear International Conference, PANIC 99, Uppsala, Suède, juin 1999, publié dans Nucl. Phys. A 663 (2000) 625c-628c.
- B. Loiseau : « Zero-energy  $\pi$ D scattering : precise determination of the  $\pi$ N scattering lengths and of the charged  $\pi$ NN coupling constant », 16th IUPAP, International Conference on Few-Body Problems in Physics, Taipei, Taiwan, mars 2000.
- F. Machefert : « Electroweak and Top quark Physics at the Tevatron », 8th International Workshop on Deep Inelastic Scattering, Liverpool, Grande-Bretagne, avril 2000, publié dans les comptes-rendus (J. Gracey et T. Greenshaw ed., World Scientific.)
- F. Martinez-Vidal [BaBar Collab.] : « Measurement of B<sub>0</sub> and B<sup>±</sup> lifetimes and B<sub>0</sub> - anti-B<sub>0</sub> mixing with fully reconstructed B decays in BaBar », 30th International Conference on High-Energy Physics (ICHEP 2000), Osaka, Japan, juillet 2000.
- B. Nicolescu : « Analytic Parametrizations of the Non-Perturbative Pomeron and QCD-inspired Models », 9th International Conference on Elastic and Diffractive Scattering (9th Blois Workshop), Prague-Pruhonice Czech Republic, juin 2001.
- J. Ocariz (BaBar DIRC Group Collab.) : « Operational Experience with the DIRC Detector », 7th International

Conference On Advanced Technology And Particle Physics, Villa Olmo, Como, Italy, octobre 2001.

- B. Olivier: « Electroweak Results from  $D\bar{0}$  », PHENO 2000 SYMPOSIUM: Phenomenology for the Nu Century, Madison, Etats-Unis, avril 2000.

- B. Olivier: « Search for Large Extra Dimensions at the Tevatron », The XXXVIth Rencontres de Moriond: QCD and Hadronic Interactions, Les Arcs, France, mars 2001, publié dans les comptes-rendus (J. Trân Thanh Vân ed., World Publishers.)

- R. Pain: « Recent results from the Supernova Cosmology Project », Rencontres de Moriond, Les Arcs, janvier 2000.

- B. Popov: « Measurement of the Lambda and Antilambda Polarization in nu-mu Charged Current Interactions in the NOMAD Experiment », International School-Workshop « ADVANCED STUDY INSTITUTE: SYMMETRIES AND SPIN », (PRAHA-SPIN-2001), Charles University, Prague, juillet 2001.

- B. Popov: « Measurement of the Lambda Polarization in nu-mu Charged Current Interactions in the NOMAD Experiment », International Conference on Low Energy Antiproton Physics (LEAP2000), Venice International University, San Servolo Island, Venice, Italy, August 2000, publié dans Nucl. Phys. A 692 (2001) 73-80.

- L. Roos: « Lifetimes, mixing and CP asymmetry of B mesons with the BABAR detector », ICFP2001, Hunan (Chine), juin 2001.

- A. Savoy-Navarro: « Performance of a New MCM-D Technology Front-End Digital Readout », Poster Session sur Fundamental Technologies (NSS and MIC) de IEEE'2000, LYON-France, octobre 2000.

- A. Savoy-Navarro: « Tevatron Review on Stop/Sbottom », Higgs and Supersymmetry, LAL-Orsay, France, mars 2001.

- J. Stark: « A measurement of the charged and neutral lifetimes in BABAR », APS 2001, Washington, avril 2001.

- A. Letessier-Selvon: « Theoretical and experimental topics on ultra high energy cosmic rays », XXVIII International Meeting on Fundamental Physics, Cadix, Spain, 14-18 Février 2000, publié dans IMFP Ed CIEMAT 287-332.

- F. Vannucci: « Detecting cosmic rays of the highest energy », NATO workshop, Oujda, mars 2001.

- R. Vinh Mau: « Nuclear forces and quark degrees of freedom », Mesons and Light Nuclei, Prague, juillet 2001.

- R. Vinh Mau: « Nuclear Forces and Quark Degrees of Freedom », Mesons and Light Nuclei, &&, Prague, juillet 2001.

## Habilitation à diriger des recherches (HDR)

- Didier Lacour: « Les Électrodes du Calorimètre Électromagnétique du détecteur ATLAS », 29 Mai 2001.

## Thèses

- Cyril Lachaud « Étude de la production des particules neutres étranges et mesure de la polarisation du Lambda dans l'expérience NOMAD au CERN », 3 mai 2000.

- Christine Heinemman « Méthodes variationnelles et invariance de Jauge: vers une étude non perturbative des théories de Yang-Mills en dimension 4 », 30 juin 2000.

- Xavier Bertou, l'Observatoire Pierre Auger, « Vers la détection de photons et neutrinos à ultra haute énergie », 28 novembre 2001.

- Sébastien Fabbro « Photométrie de supernovae et applications cosmologiques », 19 janvier 2001.

- Bob Olivier « Recherche du partenaire supersymétrique du quark Top et contribution à l'amélioration de la calorimétrie auprès de l'expérience D0 pour la phase II du Tevatron », 9 avril 2001.

- Elena Pernigotti « an imaging system for digital radiography based on GaAs pixel detector and single photo counting VLSI readout electronics », 26 mars 2001.

- Jan STARK « Reconstruction des désintégrations des mésons B en vue de la détermination de leurs durées de vie et de la mise en évidence de la violation de CP dans l'expérience BABAR à SLAC », 17 décembre 2001.

# Liste des publications

---

ATLAS

DØ

DELPHI

BABAR

NOMAD

H1

AUGER

CAT et HESS

SUPERNOVAE

THÉORIE

OUVRAGES ET ARTICLES DE VULGARISATION

## Atlas

- « Results from a new combined test of an electromagnetic liquid argon calorimeter with a hadronic scintillating-tile calorimeter », S.Z. Akhmadaliev *et al.*[Atlas Collab.], Nucl. Instrum. Meth. A449 (2000) 461-477.

## DØ

- « Measurement of the ratio of differential cross sections for W and Z boson production as a function of transverse momentum in  $p\bar{p}$  collisions at  $\sqrt{s}=1.8$  TeV », V. M. Abazov *et al.*[DØ Collab.], Phys. Lett. B517 (2001) 299.

- « Search for leptoquark pairs decaying to  $\nu\nu+jets$  in  $p\bar{p}$  collisions at  $\sqrt{s}=1.8$  TeV », V. M. Abazov *et al.*[DØ Collab.], Phys. Rev. Lett. 88 (2002) 191801.

- « Search for single top quark production at DØ using neural networks », V. M. Abazov *et al.*[DØ Collab.], Phys. Lett. B517 (2001) 282.

- « Search for new physics using QUAERO : A general interface to DØ event data », V. M. Abazov *et al.*[DØ Collab.], Phys. Rev. Lett. 87 (2001) 231801.

- « The ratio of the isolated photon cross sections at  $\sqrt{s}=630$  GeV and 1800GeV », V. M. Abazov *et al.*[DØ Collab.], Phys. Rev. Lett. 87 (2001) 251805.

- « Search for first-generation scalar and vector leptoquarks », V. M. Abazov *et al.*[DØ Collab.], Phys. Rev. D64 (2001) 092004.

- « High- $p_T$  Jets in  $p\bar{p}$  Collisions at  $\sqrt{s}=630$  and 1800 GeV », B. Abbott *et al.*[DØ Collab.], Phys. Rev. D64 (2001) 032003.

- « Search for heavy particles decaying into electron positron pairs in  $p\bar{p}$  collisions », V. M. Abazov *et al.*[DØ Collab.], Phys. Rev. Lett. 87 (2001) 061802.

- « Direct search for charged Higgs bosons in decays of top quarks », V. M. Abazov *et al.*[DØ Collab.], Phys. Rev. Lett. 88 (2002) 151803.

- « A quasi-model-independent search for new high  $p_T$  physics at DØ », B. Abbott *et al.*[DØ Collab.], Phys. Rev. Lett. 86 (2001) 3712.

- « A quasi-model-independent search for new physics at large transverse momentum », B. Abbott *et al.*[DØ Collab.], Phys. Rev. Lett. D64 (2001) 012004.

- « Inclusive jet production in  $p\bar{p}$  collisions », B. Abbott *et al.*[DØ Collab.], Phys. Rev. Lett. 86 1707 (2001).

- « Differential cross section for W boson production as a function of transverse momentum in  $p\bar{p}$  collisions at  $\sqrt{s}=1.8$  TeV », B. Abbott *et al.*[DØ Collab.], Phys. Lett. B 513 (2001) 292.

- « Measurement of the angular distribution of electrons from  $W\rightarrow e\nu$  decays observed in  $p\bar{p}$  collisions at  $\sqrt{s}=1.8$  TeV », B. Abbott *et al.*[DØ Collab.], Phys. Rev. D63 (2001) 072001.

- « Ratios of multijet cross sections in  $p\bar{p}$  collisions at  $\sqrt{s}=1.8$  TeV », B. Abbott *et al.*[DØ Collab.], Phys. Rev. Lett. 86 (2001) 1955.

- « The ratio of jet cross sections at  $\sqrt{s}=630$  GeV and 1800 GeV », B. Abbott *et al.*[DØ Collab.], Phys. Rev. Lett. 86 (2001) 2523.

- « Search for large extra dimensions in dielectron and diphoton production », B. Abbott *et al.*[DØ Collab.], Phys. Rev. Lett. 86 (2001) 1156.

- « Search for electroweak production of single top quarks in  $p\bar{p}$  collisions », B. Abbott *et al.*[DØ Collab.], Phys. Rev. D63 (2001) 031101.

- « Cross section for b jet production in  $p\bar{p}$  collisions at  $\sqrt{s}=1.8$  TeV », B. Abbott *et al.*[DØ Collab.], Phys. Rev. Lett. 85 (2000) 5068.

- « Search for new physics in  $e\mu X$  data at DØ using Sherlock: A quasi model independent search strategy for new physics », B. Abbott *et al.*[DØ Collab.], Phys. Rev. D62 (2000) 092004.

- « Search for R-parity violation in multilepton final states in  $p\bar{p}$  collisions at  $\sqrt{s}=1.8$  TeV », B. Abbott *et al.*[DØ Collab.], Phys. Rev. D62 (2000) 071701.

- « A search for dilepton signatures from minimal low-energy supergravity in  $p\bar{p}$  collisions at  $\sqrt{s}=1.8$  TeV », B. Abbott *et al.*[DØ Collab.], Phys. Rev. D63 (2001) 091102.

- « Spin correlation in  $t\bar{t}$  production from in  $p\bar{p}$  collisions at  $\sqrt{s}=1.8$  TeV », B. Abbott *et al.*[DØ Collab.], Phys. Rev. Lett. 85 (2000) 256.

- « A measurement of the  $W\rightarrow\tau\sqrt{\phantom{x}}$  production cross section in  $p\bar{p}$  collisions at  $\sqrt{s}=1.8$  TeV », B. Abbott *et al.*[DØ Collab.], Phys. Rev. Lett. 84 (2000) 5710.

- « Hard single diffraction in  $p\bar{p}$  collisions at  $\sqrt{s}=630$  and 1800 GeV », B. Abbott *et al.*[DØ Collab.], Phys. Lett. B531 (2002) 52.

- « Limits on anomalous  $WW\gamma$  and  $WWZ$  couplings from  $WW/WZ\rightarrow e\nu jj$  production », B. Abbott *et al.*[DØ Collab.], Phys. Rev. D62 (2000) 052005.

- « Probing BFKL-dynamics in the Dijet Cross-Section at Large Rapidity Intervals in  $p\bar{p}$  collisions at  $\sqrt{s}=1800$  GeV and 630 GeV », B. Abbott *et al.*[DØ Collab.], Phys. Rev. Lett. 84 (2000) 5722.

- « Limits on Quark Compositeness from High-Energy Jets in  $p\bar{p}$  collisions at  $\sqrt{s}=1.8$  TeV », B. Abbott *et al.*[DØ Collab.], Phys. Rev. D62 (2000) 031101.

- « The Isolated Photon Cross-Section in  $p\bar{p}$  collisions at  $\sqrt{s}=1.8$  TeV », B. Abbott *et al.*[DØ Collab.], Phys. Rev. Lett. 84 (2000) 2786.

- « Search for Second Generation Leptoquark Pairs in  $p\bar{p}$  collisions at  $\sqrt{s}=1.8$  TeV », B. Abbott *et al.*[DØ Collab.], Phys. Rev. Lett. 84 (2000) 2088.

## Delphi

- « Search for Technicolor with DELPHI », J. Abdallah *et al.*[DELPHI Collab.], Eur. Phys. J. C22 (2001) 17.
- « Measurement of the  $\tau$  Topological Branching Ratios », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Eur. Phys. J. C20 (2001) 617.
- « Search for the Standard Model Higgs boson at LEP in the year 2000 », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Phys. Lett. B499 (2001) 23.
- « Update of the search for supersymmetric particles in scenarios with Gravitino LSP and Sleptons NLSP », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Phys. Lett. B503 (2001) 34.
- « Search for a fermiophobic Higgs at LEP 2 », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Phys. Lett. B507 (2001) 89.
- « Measurement of the Mass and Width of the Boson in  $e^+e^-$  Collisions at  $\sqrt{s} = 189$  GeV », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Phys. Lett. 511 (2001) 159.
- « Single Intermediate Vector Boson Production in  $e^+e^-$  collisions at  $\sqrt{s} = 183$  and  $189$  GeV », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Phys. Lett. B515 (2001) 238.
- « Measurement of Trilinear Gauge Boson Couplings  $WWV$  ( $V \equiv Z, \gamma$ ) in  $e^+e^-$  Collisions at  $189$  GeV », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Phys. Lett. B502 (2001) 9.
- « Search for the sgoldstino at  $\sqrt{s} =$  from  $189$  to  $202$  GeV », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Phys. Lett. B494 (2000) 203.
- « Search for neutralino pair production at  $\sqrt{s} = 189$  GeV », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Eur. Phys. J. C19 (2001) 201.
- « Search for spontaneous R-parity violation at  $\sqrt{s} = 183$  GeV and  $189$  GeV », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Phys. Lett. B502 (2001) 24.
- « Measurement of the ZZ cross-section in  $e^+e^-$  interactions at  $183$ - $189$  GeV », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Phys. Lett. B 497(2001)199.
- « Determination of the  $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$  cross-section at centre-of-mass energies ranging from  $189$  GeV to  $202$  GeV », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Phys. Lett. B491 (2000) 67.
- « Search for SUSY with R-parity violating  $LL\bar{E}$  couplings at  $\sqrt{s} = 189$  GeV », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Phys. Lett. B487 (2000) 36.
- « Limits on the Masses of Supersymmetric Particles at  $\sqrt{s} = 189$  GeV », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Phys. Lett. B489 (2000) 38.
- « pair production cross-section and W branching fractions in  $e^+e^-$  interactions at  $189$  GeV », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Phys. Lett. B479 (2000) 89.
- « Search for R-parity violation with  $\bar{U}\bar{D}\bar{D}$  coupling at  $\sqrt{s} = 189$  GeV », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Phys. Lett. B500 (2001) 22.
- « Measurement of the semileptonic branching fractions and average b mixing parameter in Z decays », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Eur. Phys. J. C20 (2001) 455.
- « Hadronization properties of bquarks compared to light quark  $\sin e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$  from  $183$  to  $200$  GeV », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Phys. Lett. B479 (2000) 118, erratum Phys. Lett. B492 (2000) 398.
- « Measurement and Interpretation of Fermion-Pair Production at LEP Energies of  $183$  and  $189$  GeV », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Phys. Lett. B485 (2000) 45.
- « Search for sleptons in  $e^+e^-$  collisions at  $\sqrt{s} = 183$  to  $189$  GeV », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Eur. Phys. J. C19 (2001) 29.
- « Search for supersymmetric particles in scenarios with a gravitino LSP and stau NLSP », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Eur. Phys. J. C16 (2000) 211.
- « Charged and Identified Particles in the Hadronic Decay of Bosons and in  $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$  from  $130$  to  $200$  GeV », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Eur. Phys. J. C18 (2000) 203.
- « Search for supersymmetric partners of top and bottom quarks at  $\sqrt{s} = 189$  GeV », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Phys. Lett. B496 (2000) 59.
- « Measurement of  $V_{cb}$  from the decay process  $\bar{B}^0 - D^{*+}l - \bar{\nu}$  », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Phys. Lett. B510 (2001) 55.
- « Update of the search for charginos nearly mass-degenerate with the lightest neutralino », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Phys. Lett. B485 (2000) 95.
- « Search for Heavy Stable and Long-Lived Particles in  $e^+e^-$  Collisions at  $\sqrt{s} = 189$  GeV », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Phys. Lett. B478 (2000) 65.
- « Photon Events with Missing Energy at  $\sqrt{s} = 183$  to  $189$  GeV », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Eur. Phys. J. C17 (2000) 53.
- « Searches for Neutral Higgs Bosons in  $e^+e^-$  Collisions around  $\sqrt{s} = 189$  GeV », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Eur. Phys. J. C17 (2000) 187/549.
- « Search for charginos in  $e^+e^-$  interactions at  $\sqrt{s} = 189$  GeV », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Phys. Lett. B479 (2000) 129.
- « Identified Charged Particles in Quark and Gluon Jets », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Eur. Phys. J. C17 (2000) 207.
- « Measurement of the  $\bar{B} \rightarrow D^{(*)}\pi/\bar{\nu}_l$  Branching Fraction », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Phys. Lett. B475 (2000) 407.
- « Determination of  $|V_{ub}|/|V_{cb}|$  with DELPHI at LEP », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Phys. Lett. B478 (2000) 14.
- « Study of  $B_s^0 \bar{B}_s^0$  oscillations and  $B_s^0$  lifetimes using hadronic decays of  $B_s^0$  mesons », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Eur. Phys. J C18 (2000) 229.

- « Measurement of the Gluon Fragmentation Function and Comparison of the Scaling Violation in Gluon and Quark Jets », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Eur. Phys. J. C13 (2000) 573.
- « Study of Dimuon Production in Photon-Photon Collisions and Measurement of QED Photon Structure Functions at LEP », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Eur. Phys. J. C19 (2001) 15.
- « Two-dimensional Analysis of the Bose-Einstein Correlations in  $e^+e^-$  Annihilation at the  $Z^0$  peak », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Phys. Lett. B471 (2000) 460.
- « Consistent Measurements of  $\alpha_s$  from Precise Oriented Event Shape Distributions », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Eur. Phys. J. C14 (2000) 557 erratum Eur. Phys. J. C19(2001)761.
- « Measurement of the strange quark forward-backward asymmetry around the  $Z^0$  peak », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Eur. Phys. J. C14 (2000) 613.
- « Lambda Polarization in Z decays at LEP », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Phys. Lett. B474 (2000) 205.
- « A Precise Measurement of the  $\tau$  Polarisation at LEP-1 », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Eur. Phys. J. C14 (2000) 585.
- « Measurement of the  $B_s^0$  Lifetime and Study of  $B_s^0 \bar{B}_s^0$  Oscillations using  $D_s/l$  Events », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Eur. Phys. J. C16 (2000) 555.
- « Upper Limit for the Decay  $\bar{B} \rightarrow \tau \bar{\nu}_\tau$  and Measurement of the  $\bar{B} \rightarrow \tau \bar{\nu}_\tau$  Branching Ratio », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Phys. Lett. B496 (2000) 43.
- « Study of the Lorentz Structure in  $\tau$  Decays », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Eur. Phys. J. C16 (2000) 229.
- « Determination of  $P(c \rightarrow D^{*+})$  and  $BR(c \rightarrow l^+)$  at LEP », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Eur. Phys. J. C12 (2000) 209 .
- « Search for supersymmetry with R-parity violating  $L\bar{L}$  couplings at  $\sqrt{s} = 183$  GeV », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Eur. Phys. J. C13 (2000) 591 .
- « Measurements of the Partial Decay Width into  $c\bar{c}$  and Multiplicity of Charm Quarks per b Decay », P. Abreu *et al.*[DELPHI Collab.], Eur. Phys. J. C12 (2000) 225 .

## Babar

- « Measurements of the branching fractions of exclusive charmless B meson decays with eta- $\omega$  or omega mesons », B. Aubert *et al.*[BaBar Collab.], Phys. Rev. Lett 87 (2001) 221802.
- « Search for the decay  $B^0 \rightarrow \gamma\gamma$  », B. Aubert *et al.*[BaBar Collab.], Phys. Rev. Lett. 87 (2001) 241803.
- « Measurement of the  $B \rightarrow J/\psi K^*(892)$  decay amplitudes », B. Aubert *et al.*[BaBar Collab.], Phys. Rev. Lett. 87 (2001) 241801.
- « Measurement of the  $B^0$  and  $B^+$  meson lifetimes with

- fully reconstructed hadronic final states », B. Aubert *et al.*[BaBar Collab.], Phys. Rev. Lett. 87 (2001) 20180.
- « Observation of CP violation in the  $B^0$  meson system », B. Aubert *et al.*[BaBar Collab.], Phys. Rev. Lett. 87 (2001) 091801.
- « Measurement of J /  $\psi$  production in continuum  $e^+e^-$  annihilations near  $\sqrt{s} = 10.6$  GeV », B. Aubert *et al.*[BaBar Collab.], Phys. Rev. Lett. 87 (2001) 162002.
- « Measurement of branching fractions and search for CP violating charge asymmetries in charmless two body B decays into pions and kaons », B. Aubert *et al.*[BaBar Collab.], Phys. Rev. Lett. 87 (2001) 151802.
- « Measurement of the decays  $B \rightarrow \psi K$  and  $B \rightarrow \psi K^*$  », B. Aubert *et al.*[BaBar Collab.], Phys. Rev. Lett. 87 (2001)151801.
- « Measurement of CP violating asymmetries in  $B^0$  decays to CP eigenstates », B. Aubert *et al.*[BaBar Collab.], Phys. Rev. Lett. 86 (2001) 2515-2522.

## Nomad

- « A study of strange particle production in  $\nu_\mu$  charged current interactions in the NOMAD experiment », P. Astier *et al.*[NOMAD Collab.], Nucl. Phys. B621 (2001) 3-34.
- « Final NOMAD results on  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$  and  $\nu_e \rightarrow \nu_\tau$  oscillations including a new search for  $\nu_\tau$  appearance using hadronic tau decays », P. Astier *et al.*[NOMAD Collab.], Nucl. Phys. B611 (2001) 3-39.
- « A study of backward going protons and negative pions in  $\nu_\tau$  CC interactions with the NOMAD detector », P. Astier *et al.*[NOMAD Collab.], Nucl. Phys. B609 (2001) 255-279.
- « Measurement of the Antilambda Polarisation in  $\nu_\mu$  Charged Current Interactions in the NOMAD Experiment », P. Astier *et al.*[NOMAD Collab.], Nucl. Phys. B605 (2001) 3-14.
- « Inclusive  $p, f_0, f_2$  Meson Production in Muon-Neutrino Charged Current Interactions », P. Astier *et al.*[NOMAD Collab.], Nucl. Phys. B601 (2001) 3-23.
- « Search for MeV isosinglet neutrinos mixing with tau neutrinos », P. Astier *et al.*[NOMAD Collab.], Phys. Lett. B506 (2001) 27.
- « Measurement of the Lambda Polarization in  $\nu_\mu$  Charged Current Interactions in the NOMAD Experiment », P. Astier *et al.*[NOMAD Collab.], Nucl. Phys. B588 (2000) 3-36.
- « Neutrino Production of Opposite Sign Dimuons in the NOMAD Experiment », P. Astier *et al.*[NOMAD Collab.], Phys. Lett. B486 (2000) 35.
- « Updated Results from the  $\nu_\tau$  Appearance Search in NOMAD », P. Astier *et al.*[NOMAD Collab.], Phys. Lett. B483 (2000) 387-404.
- « Search for eV (pseudo) Scalar Penetrating Particles in

the SPS Neutrino Beam », P. Astier *et al.*[NOMAD Collab.], Phys. Lett. B479 (2000) 371-380.

- « Limit on  $\nu_e \rightarrow \nu_\tau$  Oscillations from the NOMAD Experiment », P. Astier *et al.*[NOMAD Collab.], Phys. Lett. B471 (2000) 406-410.

- « Kalman filter track fit and track breakpoint analysis », P. Astier, A. Cardini, R.D. Cousins, A. Letessier-Selvon, B.A. Popov, T. Vinogradova, Nucl. Inst. Meth. A450 (2000) 138-154.

## H1

- «  $D^{*+}$  meson production in deep-inelastic diffractive interactions at HERA », C. Adloff *et al.*[H1 Collab.], Phys. Lett. B520 (2001) 191.

- « On the rise of the proton structure function  $F_2$  towards low  $x$  », C. Adloff *et al.*[H1 Collab.], Phys. Lett. B520 (2001) 183.

- « A search for leptoquark bosons in  $e^-p$  collisions at HERA », C. Adloff *et al.*[H1 Collab.], Phys. Lett. B523 (2001) 234.

- « Measurement of deeply virtual Compton scattering at HERA », C. Adloff *et al.*[H1 Collab.], Phys. Lett. B517 (2001) 47.

- « Three-jet production in deep-inelastic scattering at HERA », C. Adloff *et al.*[H1 Collab.], Phys. Lett. B515 (2001) 17.

- « Photoproduction with a leading proton at HERA », C. Adloff *et al.*[H1 Collab.], Nucl.Phys.B B619 (2001) 3.

- « Searches at HERA for squarks in R-parity violating supersymmetry », C. Adloff *et al.*[H1 Collab.], Eur. Phys. J. C20 (2001) 639.

- « Deep-inelastic inclusive  $ep$  scattering at low  $x$  and a determination of  $\alpha(s)$  », C. Adloff *et al.*[H1 Collab.], Eur. Phys. J. C21 (2001) 33.

- « Measurement of neutral and charged current cross sections in electron proton collisions at high  $Q^2$  », C. Adloff *et al.*[H1 Collab.], Eur. Phys. J. C19 (2001) 269.

- « Diffractive jet production in deep-inelastic  $e^+p$  collisions at HERA », C. Adloff *et al.*[H1 Collab.], Eur. Phys. J. C20 (2001) 29.

- « Measurement and QCD analysis of jet cross sections in deep-inelastic positron proton collisions at  $\sqrt{s} = 300$  GeV », C. Adloff *et al.*[H1 Collab.], Eur. Phys. J. C19 (2001) 289.

- « Dijet production in charged and neutral current  $e^+p$  interactions at high  $Q^2$  », C. Adloff *et al.*[H1 Collab.], Eur. Phys. J. C19 (2001) 429.

- « A search for excited fermions at HERA », C. Adloff *et al.*[H1 Collab.], Eur. Phys. J. C17 (2000) 567.

- « Inclusive photoproduction of neutral pions in the photon hemisphere at HERA », C. Adloff *et al.*[H1 Collab.], Eur. Phys. J. C18 (2000) 293.

- « Measurement of elastic electroproduction of Phi mesons at HERA », C. Adloff *et al.*[H1 Collab.], Phys. Lett. B483 (2000) 360.

- « Elastic photoproduction of J/psi and Upsilon mesons at HERA », C. Adloff *et al.*[H1 Collab.], Phys. Lett. B483 (2000) 23.

- « Measurement of di-jet cross-sections in photoproduction and photon structure », C. Adloff *et al.*[H1 Collab.], Phys. Lett. B483 (2000) 36.

- « Search for compositeness, leptoquarks and large extra dimensions in  $eq$  contact interactions at HERA », C. Adloff *et al.*[H1 Collab.], Phys. Lett. B479 (2000) 358.

## Auger

- « Physics of Extremely High Energy Cosmic Rays », X. Bertou, M. Boratav, A. Letessier-Selvon, Int. Journ. of Modern Physics A15 (2000) 2181-2224.

- « Cosmic Rays above  $10^{14}$  eV », M. Boratav, A. Watson, Comptes-Rendus Académie des Sciences IV-1 (2000) 207-215.

- « LPM effect and pair production in the geomagnetic field: a signature of ultra-high energy photons in the Pierre Auger Observatory », X. Bertou, P. Billoir, S. Dagoret-Campagne, Astroparticle Physics 14 (2000) 121.

- « Phenomenology of ultra-high energy atmospheric showers », P. Billoir, Lecture Notes in Physics, Springer Physics and Astrophysics of Ultra-High Energy Cosmic Rays (2001) 27-44.

- « A critical view on the origin of the ultra-high energy cosmic rays », M. Boratav, A. Letessier-Selvon, Lecture Notes in Physics, Springer Physics and Astrophysics of Ultra-High Energy Cosmic Rays (2001) 300-317.

## Cat et Hess

- « Constraints on the cosmic infrared background based on BeppoSAX and CAT spectra of MrK501 », J. Guy *et al.*[CAT Collab.], Astron. Astrophys 359 (2000) 419.

- « Temporal spectra  $\gamma$  ray properties of MrK421 above 250 GeV from CAT observations between 1996 and 2000 », J.P. Tavernet *et al.*[CAT Collab.], Astron. Astrophys 374 (2001) 895.

- « Photodetectors for HESS », A. Kohnle *et al.*, Proc. of the 2nd Int. Conf. on New Developments in Photodetection, Beaune, 1999, Nucl. Instr. Meth. A442 (2000) 322.

## Supernovae

- « Can luminosity distance measurements probe the equation of state of dark energy? », P. Astier, Phys. Lett. B 500 (2001) 8-15.

- « Supernovae and the nature of dark energy », M. Goliath, A. Amanullah, P. Astier, R. Pain, Astronom and Astroph. 380 (2001) 10-18.



- « Timescale stretch parametrization of type Ia Supernova B-Band light curves », G Goldhaber *et al*[SCP Collab.], *Astroph. Journ.* 558 (2001) 359-368.

### Théorie

- « np scattering measurements at 96 MeV », J. Rahm, J. Blomgren, H. Condé, S. Dangtip, K. Elmgren, N. Olsson, T. Ronnqvist, R. Zorro, O. Jonsson, L. Nilsson, P.-U. Renberg, A. Ringbom, G. Tibell, S.Y. van der Werf, T.E.O. Ericson et B. Loiseau, *Phys. Rev. C* 63 (2001) 044001.

- «  $\pi\Lambda\Sigma$  Coupling extracted from hyperonic atoms », B. Loiseau et S. Wycech, *Phys. Rev. C* 63 (2001) 034003.

- «  $\pi N$  scattering and electromagnetic corrections in the perturbative chiral quark model », V.E. Lyubovitskij, T. Gutsche, A. Faessler et R. Vinh Mau, *Phys. Lett.* B520 (2001) 204-212.

- « Possible glueball configurations in the scalar-isoscalar meson sector », T. Gutsche, M. Strohmeier-Prezcisek, A. Faessler et R. Vinh Mau, *Nucl. Phys.* A684 (2001) 345.

- « Possible cosmological implications of the quark-hadron phase transitions », N. Borghini, W. N. Cottingham et R. Vinh Mau, *Journal of Physics* 26 (2000) 771.

- « A possible two-component structure of the non-perturbative pomeron », P. Gauron et B. Nicolescu, *Physics Letters* B486 (2000) 71-76.

- « Hadronic scattering amplitudes : medium-energy constraints on asymptotic behaviour », J. R. Cudell, V. V. Ezhela, P. Gauron, K. Kang, Yu. V. Kuyanov, S. B. Lugovsky, B. Nicolescu et N. P. Tkachenko, *Physical Review D* (sous presse).

- « Production of bound triplet  $\mu^+\mu^-$  system in collisions of electrons with atoms », N. Arteaga-Romero, C. Carimalo, V. G. Serbo, *Phys. Rev.* A62 (2000) 032501.

- « Production of like sign dileptons in  $\bar{p}p$  collisions through composite Majorana neutrinos », O. Panella, C. Carimalo, Y. N. Srivastava, *Phys. Rev.* D62 (2000) 015013.

### Divers

- « A white paper on the electron-ion collider », M. W. Krasny *et al*, NSAC Long Range Planning Meeting March 2001.

- « Isospin symmetry breaking within the HLS model: A full  $(\rho, \omega, \phi)$  mixing scheme », M. Benayoun, H.B. O'Connell, *Eur. Phys. J.* C22 (2001) 503.

- « Study of  $f_0$  decays into four neutral pions », A. Abele *et al*. [Crystal Barrel Collab.], *Eur. Phys. J.* C19 (2001) 667.

- « 4  $\pi$  decays of Scalar and vector mesons », A. Abele *et al*. [Crystal Barrel Collab.], *Eur. Phys. J.* C21 (2001) 261.

- « A high resolution search for the tensor glueball candidate  $\Xi(2230)$  », C. Amsler *et al*. [Crystal Barrel Collab.], *Phys. Lett.* B520 (2001) 175.

- « Branching ratios for  $\bar{p}p$  annihilation at rest into two body final states », A. Abele *et al*. [Crystal Barrel Collab.], *Nucl. Phys.* A679 (2001) 563.

### Ouvrages et articles de vulgarisation

- « Les frémissements des étoiles étranges », N. Borghini et R. Vinh Mau, *La Recherche* Décembre 2000.

- « L'énigme des rayons cosmiques d'énergies extrêmes et l'Observatoire Auger », M. Boratav, *L'Astronomie* 114 (2000) 200.

- « Les rayons cosmiques d'énergies extrêmes », M. Boratav, T. Suomijärvi, *Pour la Science* 292 (2002) 66.

- « Monsieur Tout-le-Monde rencontre la radioactivité », C. De La Vaissière, F. Hubault, J. Laberrigie-Frolow, Site web <http://www.laradioactivite.com>.

- « La Violation de CP », J. Chauveau et R. Granier de Cassagnac, *Images de la Physique* 2001.

# Liste du personnel

---

Chercheurs CNRS

Enseignants chercheurs

Boursiers - Thésards

Visiteurs étrangers

Ingénieurs, Techniciens et Administratifs



## Ingénieurs, Techniciens et Administratifs

### **Astesana Françoise**

Ingénieur d'études

### **Ba Trung Michèle**

Technicien de la Recherche

### **Bailly Philippe**

Technicien de la Recherche

### **Bassava Swarnalatha**

Technicien de la Recherche  
(CDD)

### **Beauchet Philippe**

Technicien de la Recherche  
(CDD)

### **Bertoli Walter**

Ingénieur d'études

### **Bouhaddad Nacéra**

Ingénieur d'études  
(disponibilité à/c du 01/11/01)

### **Brissard Monique**

Technicien de la Recherche

### **Canton Bernard**

Ingénieur d'études

### **Caraco Bernard**

Adjoint d'administration

### **Castera Alain**

Ingénieur de Recherche  
(mutation 01/09/2001)

### **Cloarec Marie-Madeleine**

Technicien de la Recherche

### **Commercon Arnaud**

Assistant ingénieur

### **Cossin Isabelle**

Technicien de la Recherche

### **Denance Jean-Pierre**

Ingénieur d'études

### **Detournay Michèle**

Ingénieur de Recherche

### **Dhellot Marc**

Assistant ingénieur  
(CDD)

### **Doreste Claudie**

Adjoint technique  
(congé parental)

### **Drapeau Claude**

Technicien de la Recherche  
(retraite 1<sup>er</sup> février 2000)

### **Durin Josette**

Ingénieur d'études

### **Étienne Philippe**

Ingénieur d'études

### **Faivre Maria**

Technicien de la Recherche  
(mutation décembre 2000)

### **Fon Christian**

Adjoint technique

### **Frua-Bernard Anna**

Technicien de la Recherche

### **Génat Jean-François**

Ingénieur de Recherche

### **Goffin Colette**

Assistant ingénieur

### **Gorrand Jean-Louis**

Assistant ingénieur

### **Gorrand Sylviane**

Technicien de la Recherche

### **Guimard André**

Technicien de la Recherche

### **Huppert Jean-François**

Ingénieur d'études

### **Imbault Didier**

Ingénieur de Recherche

### **Jos Jeanne**

Assistant ingénieur

### **Laloux Philippe**

Assistant ingénieur

### **Laporte Didier**

Assistant ingénieur

### **Le Dortz Olivier**

Ingénieur de Recherche

### **Lebbolo Hervé**

Ingénieur de Recherche

### **Lebreton Evelyne**

Ingénieur de Recherche

### **Machecourt Simon**

Adjoint technique  
(mutation 01/09/2001)

### **Martin David**

Ingénieur d'études

### **Martin Liliana**

Ingénieur de Recherche

### **Méphane Evelyne**

Ingénieur d'études

### **Meurgey Jocelyne**

Adjoint technique de la Recherche

### **Nayman Patrick**

Ingénieur de Recherche

### **Paraiso Adamou**

Technicien de la Recherche

### **Parraud Jean-Marc**

Assistant ingénieur

### **Pavel Nicolas**

Technicien de la Recherche

### **Portes Jacques**

Ingénieur de Recherche  
(mutation octobre 2000)

### **Repain Philippe**

Technicien de Recherche

### **Rossel François**

Ingénieur d'études

### **Roynel Michaël**

Adjoint technique  
(CDD)

### **Schuh Patricia**

Attaché d'administration de la recherche  
(Mutation Janvier 2000)

### **Sefri Aïcha**

Adjoint technique  
(CDD)

### **Sefri Rachid**

Ingénieur d'études

### **Steyaert Didier**

Assistant ingénieur

### **Strachman Zaharia**

Ingénieur de Recherche

### **Toussnel François**

Ingénieur d'études

### **Vallereau Alain**

Assistant ingénieur

### **Warin-Charpentier Patricia**

Ingénieur d'études



LPNHE - Paris

.....

LABORATOIRE DE PHYSIQUE NUCLEAIRE  
ET DE HAUTES ENERGIES

.....

4, PLACE JUSSIEU  
TOUR 33  
REZ-DE-CHAUSSEE  
75252 PARIS CEDEX 05

.....

TÉL. : 33 (1) 44 27 63 13  
FAX : 33 (1) 44 27 46 38  
[WWW-LPNHEP.IN2P3.FR/](http://WWW-LPNHEP.IN2P3.FR/)

