



Les programmes expérimentaux

Le Modèle Standard et ses extensions

Le cadre théorique de la physique des particules est le Modèle Standard. Dans ce modèle, les constituants élémentaires de la matière sont des particules de spin $\frac{1}{2}$ (fermions) au nombre de 12, classées en 3 générations, et les 12 antiparticules correspondantes. Chaque génération est composée de deux quarks et de deux leptons. La première génération dont les constituants sont les plus légers explique la matière qui nous entoure ; les deux autres générations sont des répliques de la première, mais de masses plus élevées, et forment des particules instables, de courte durée de vie.

Les constituants interagissent entre eux par l'échange de particules (médiateurs) de spin 1 (bosons). Chaque interaction a ses médiateurs : les gluons pour l'interaction forte, le photon pour l'interaction électromagnétique, les bosons W et Z pour l'interaction faible. L'un des succès importants du Modèle Standard a été l'unification entre les interactions électromagnétique et faible : l'interaction électrofaible.

Les masses des particules ont des échelles très différentes : la masse des gluons et du photon est nulle, celle des W et Z est 80 à 90 fois celle du proton ; Dans le Modèle Standard, les particules acquièrent de la masse par le « Mécanisme de Higgs » qui implique l'existence d'une nouvelle particule : le boson de Higgs. Une des extensions du modèle standard unifiant les interactions forte, électrofaible et gravitationnelle est donnée par la supersymétrie (symétrie entre fermions et bosons) qui prédit l'existence de plusieurs bosons de Higgs et de tout un spectre de nouvelles particules.

Quarks	u	c	t	
	<i>Up</i>	<i>Charme</i>	<i>Top</i>	
	d	s	b	
	<i>Down</i>	<i>Strange</i>	<i>Bottom</i>	
	Leptons	ν_e	ν_μ	ν_τ
		<i>Neutrino e</i>	<i>Neutrino μ</i>	<i>Neutrino τ</i>
e		μ	τ	
<i>Electron</i>		<i>Muon</i>	<i>Tau</i>	

Les mesures de précision et la recherche de nouvelles particules

Une décennie de mesures de haute précision tant au pic du Z^0 qu'à plus haute énergie avec la mesure de la masse du W a montré la qualité des prédictions du modèle standard et a constitué l'un des succès du programme du LEP. Reste à ce modèle à passer l'épreuve du boson de Higgs pour lequel les expériences au LEP n'ont pu que donner des limites.

*Le nouveau domaine d'énergie qui va devenir accessible avec le LHC permettra, entre autres, d'explorer le secteur du Higgs ; si la brisure de la symétrie électrofaible est due à d'autres mécanismes, les expériences au LHC devraient pouvoir explorer ces nouvelles interactions. Il devrait être également possible de produire et détecter des particules supersymétriques et de façon plus générale, de tester de nombreux autres modèles tels que, par exemple, l'existence de dimensions spatiales supplémentaires, sans oublier l'inattendu. C'est le challenge d'**ATLAS** et **CMS** au LHC.*

Fin des expériences du LEP : ALEPH

Participation du LAPP

Expérimentateurs : I. De Bonis, D. Décamp, C. Goy, S. Jézéquel, M- N. Minard, **B. Pietrzyk**

Doctorant : R. Brunelière

Abstract

From 2002 to 2003, the LAPP group has pursued its activities in the ALEPH collaboration. The final analyses of the Standard Model and beyond the standard model physics are made using LEP 2 and LEP 1 data.

Présentation générale

La prise de données au LEP a pris fin en novembre 2000, et le détecteur ALEPH a été démonté en 2001. La finalisation des résultats a nécessité une nouvelle analyse des données de LEP2, une production massive d'événements Monte-Carlo et repose sur l'étude détaillée des systématiques. En 2002-2003 une activité encore importante a été menée sur les analyses dans les domaines suivants :

- Physique avec les données de LEP 2 avec deux fermions dans l'état final :
 - Mesure des sections efficaces fermioniques et des asymétries leptoniques.
 - Mesure de production des saveurs lourdes et de leurs asymétries.
 - Interprétation en terme de nouvelle physique.
 - Mesure de l'énergie du faisceau du LEP avec les événements $Z\gamma$.
- Physique avec les données de LEP 2 avec quatre fermions dans l'état final :
 - Corrélations de Bose-Einstein dans les désintégrations de paires de W.
 - Mesure des couplages chargés à trois bosons.
 - Mesure des couplages neutres.
- Ajustements du Modèle Standard, α_{QED} .

Analyses et résultats

Physique avec les données de LEP 2 avec deux fermions dans l'état final

A LEP2, l'étude de la production de paires de fermions $e^+e^- \rightarrow f\bar{f}$ fournit un test du Modèle Standard, pour des énergies dans le centre de masse allant de 130 GeV à 207 GeV.

Le groupe du LAPP assure dans la collaboration ALEPH, la mesure des sections efficaces hadroniques et leptoniques ainsi que les asymétries avant-arrière des di-leptons. Il est aussi engagé dans la mesure des processus $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$ et $e^+e^- \rightarrow c\bar{c}$ à haute énergie et des asymétries associées (R_b , R_c et A_{FB}^b et A_{FB}^c).

Le groupe participe à la combinaison des mesures des 4 expériences LEP. Les mesures combinées dans le secteur des di-fermions sont présentées sur les Figures 1 et 2. Un bon accord des mesures avec les prédictions théoriques du

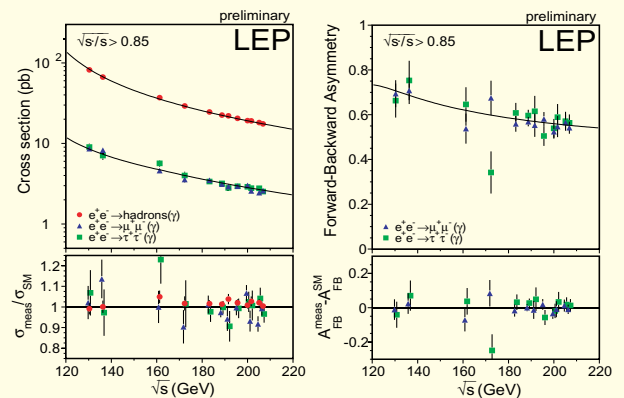


Figure 1 : Sections efficaces et asymétries avant-arrière des processus $e^+e^- \rightarrow f\bar{f}$. Résultats combinés des 4 expériences LEP comparés aux prédictions du Modèle Standard.

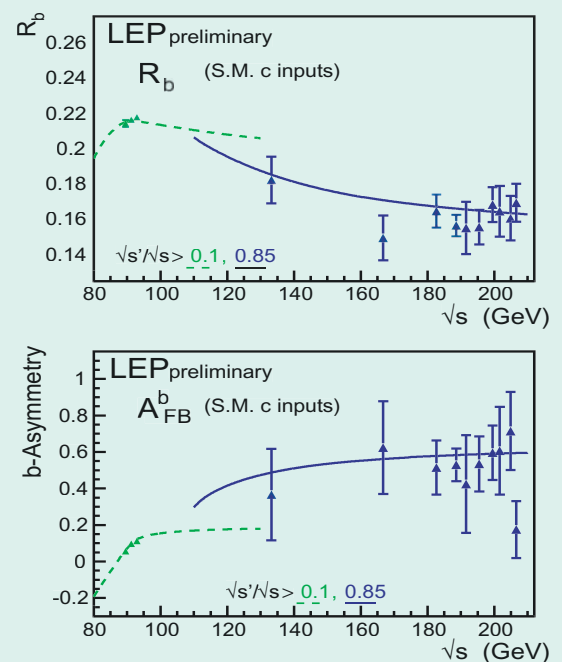


Figure 2 : Résultat préliminaire des mesures combinées des expériences LEP pour R_b et A_{FB}^b . Les lignes représentent les prédictions du Modèle Standard.

Modèle Standard est observé et permet de contraindre les modèles de Nouvelle Physique. Des limites indirectes sont ainsi mises sur les interactions de contact, sur la masse des leptoquarks en fonction de leur couplage (Figure 3), sur les sneutrinos avec violation de la R-parité et sur les échelles des extra-dimensions (Figure 4).

Loin du pôle du Z, une contribution importante aux sections efficaces di-fermioniques provient d'événements

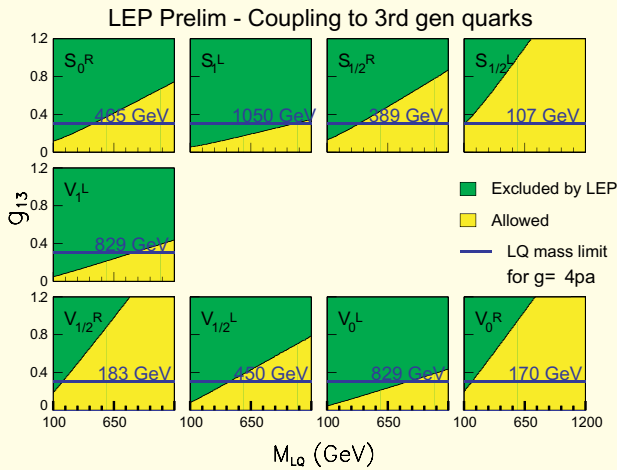


Figure 3 : Limites à 95% de degré de confiance sur la masse des leptoquarks se couplant à la troisième génération de quark.

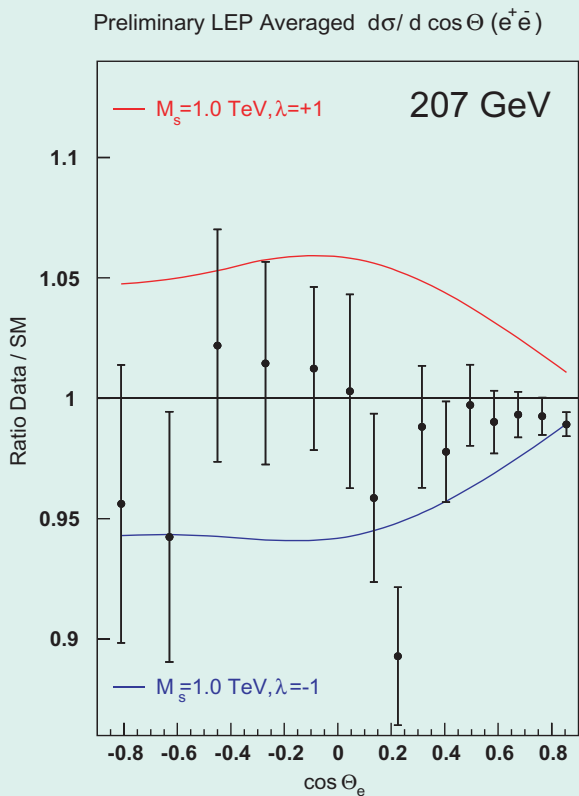


Figure 4 : Section efficace différentielle du processus $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ normalisée aux prédictions du Modèle Standard et limites obtenues sur les échelles des extra-dimensions $M_s = 1$ TeV.

ments $e^+e^- \rightarrow Z\gamma$, où le photon provient de la radiation d'un électron/positron incident. La masse reconstruite à partir de deux fermions de l'état final est alors celle du Z, mesurée précisément à LEP 1. Ce processus est utilisé pour vérifier la cohérence des résultats du LEP.

Physique avec les données de LEP 2 avec quatre fermions dans l'état final

Depuis 1996, les expériences LEP observent des événements provenant de la production de paires de W qui se désintègrent chacun hadroniquement ou leptoniquement. La mesure précise de la masse de W a une importance primordiale. La comparaison du résultat de la mesure avec la prédiction du Modèle Standard constitue le test le plus précis des corrections radiatives électrofaibles qui dépendent entre autres de la masse du quark top et du Higgs.

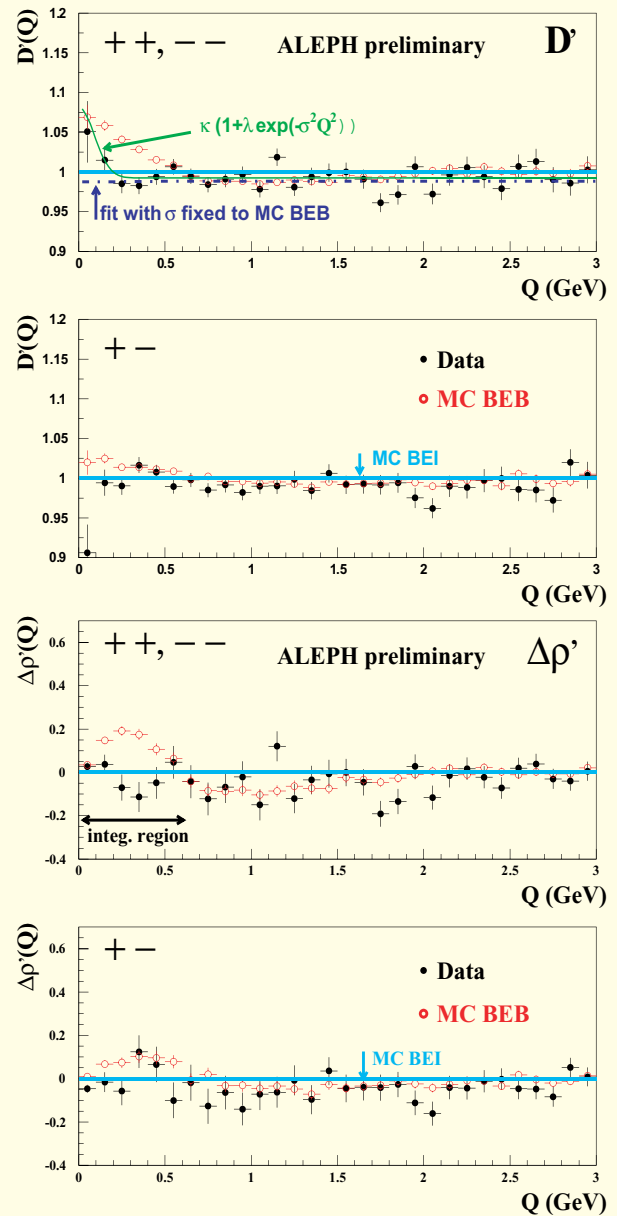


Figure 5 : Mesure des corrélations Bose-Einstein entre des pions provenant des fragmentations des W différentes.

Dans le canal à 4 quarks, des effets subtils probablement non perturbatifs de reconnection de couleur et/ou de corrélations de Bose-Einstein entre les produits de fragmentation de quarks issus de W différents peuvent avoir lieu. L'équipe du LAPP a fini l'analyse des corrélations Bose-Einstein en utilisant une méthode originale limitant les erreurs statistiques et systématiques.

Ces corrélations n'ont pas été observées dans les données analysées dans le groupe (Figure 5).

La combinaison des résultats des expériences LEP a été faite par le groupe (Figure 6). L3 et OPAL ont obtenu les conclusions similaires à notre groupe, en revanche DELPHI a obtenu un signal positif. L'étude de ces corrélations est aussi importante pour la détermination de l'erreur systématique dans la mesure de la masse de W.

La production de paires de W permet l'étude des vertex chargés à trois bosons $W^+W\gamma$ et W^+WZ . Dans le cadre de $SU(2)\times U(1)$, trois paramètres quantifient les possibles

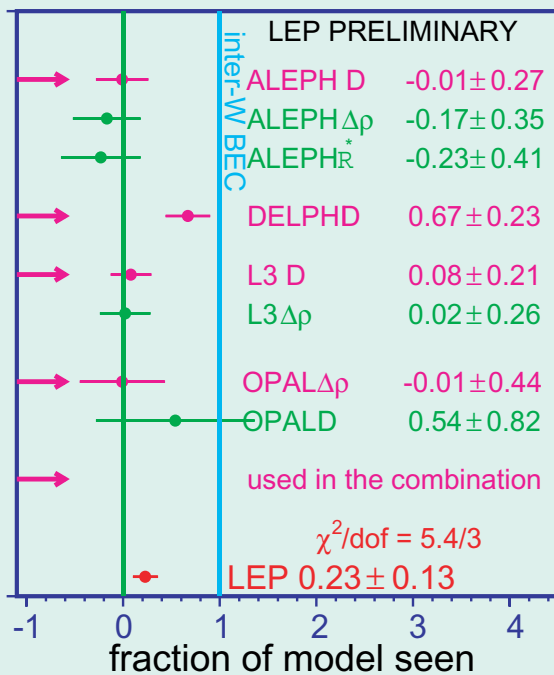


Figure 6 : La combinaison des résultats des expériences LEP sur les corrélations Bose-Einstein entre les produits de fragmentation de quarks issus de W différents.

déviations au Modèle Standard. La mesure est basée sur celle de la section efficace de production $e^+e^- \rightarrow W^+W^-$ et des angles de production des quatre produits de désintégration. Pour cette mesure, le LAPP a travaillé sur le résultat final en utilisant l'ensemble des canaux de désintégration et en ajoutant les contraintes des canaux $\nu\bar{\nu}\gamma$ et $W\nu\nu$ (Figure 7). Il participe aussi au groupe du travail de combinaison des résultats des expériences LEP et Tevatron. Enfin, le groupe a utilisé les événements $Z\gamma$ pour vérifier la cohérence de la reconstruction des jets entre données simulées et réelles. L'ensemble de ce travail a fait l'objet de la thèse de Renaud Brunelière.

Ajustements du Modèle Standard, α_{QED}

Le groupe contribue encore au travail de la combinaison des résultats de quatre expériences LEP sur les paramètres fondamentaux du Modèle Standard mesurés à LEP 1 (publiés pour ALEPH en 1999). Une attention particulière a été donnée aux calculs de la valeur de la contribution hadronique à la polarisation du vide utilisée dans ces ajustements.

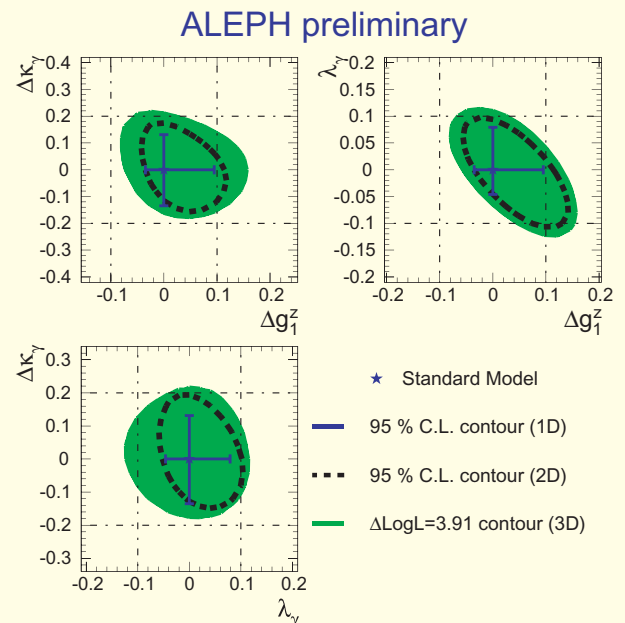


Figure 7. Valeurs de couplages autorisées autour de zéro en combinant les contraintes provenant des données ALEPH à LEP2.

Collaboration IN2P3-POLOGNE

Depuis plusieurs années, le groupe collabore avec les théoriciens de Cracovie qui ont développé les générateurs essentiels pour la physique du LEP (KORALZ, BHLUMI, BHWIDE, KORALW, KK...).

Le travail se poursuit sur les différents générateurs des physiques pour LEP 2 (paires des fermions et des W, un ou deux photons signés et l'énergie manquante).

Collaboration internationale regroupant 37 instituts dont 6 laboratoires français : LAPP Anecy, LPC Clermont-Ferrand, CPPM Marseille, LAL Orsay, LPNHE Polytechnique, GEN-DAPNIA Saclay

Pour en savoir plus

<http://www.lapp.in2p3.fr/aleph/title.html>

<http://alephwww.cern.ch/>

Fin des expériences du LEP : L3

Participation du LAPP

Expérimentateurs : J.-J. Blaising, G. Coignet, A. Degré, D. Duchesneau, S. Rosier-Lees, M. Vivargent (éméritat)

Abstract

From 2002 to 2003 the LAPP group has contributed to the obtention of the final results of the L3 experiment. In particular, it took a leader role in the analysis and interpretation of the QCD results and the search for supersymmetric particles.

Pour l'expérience L3, les années 2002 et 2003 ont été caractérisées par la poursuite et la fin des analyses des données collectées aux plus hautes énergies des collisions électron-positon du LEP. D'autre part, ces données ont été ajoutées à celles obtenues précédemment à LEP2, afin d'obtenir une luminosité intégrée totale de plus de 700 pb^{-1} pour le domaine d'énergie dans le centre de masse $130 \text{ GeV} < \sqrt{s} < 209 \text{ GeV}$.

Les derniers résultats obtenus par la collaboration L3 ont été publiés. Ils concernent les tests de précision du Modèle Standard (Electrofaible et QCD), la physique des collisions photon-photon et la recherche de nouvelles particules ou interactions. Dans certains cas, tels que les recherches du boson de Higgs ou de particules SUPersymétriques, ces résultats ont été associés à ceux obtenus par les trois autres expériences LEP dans le but d'obtenir des précisions ou des limites améliorées grâce au plus grand nombre d'événements.

L'activité du groupe du LAPP s'est concentrée essentiellement sur deux sujets :

- L'étude des événements hadroniques et les tests de la théorie QCD.
- La recherche de particules supersymétriques.

Etude des événements hadroniques et tests de la théorie QCD

1. Etude de la structure des événements hadroniques et détermination de α_s

La théorie des interactions fortes prédit une dépendance de la constante de couplage α_s en fonction de l'énergie. Cette caractéristique se traduit par une modification de la structure des événements hadroniques, $e^+e^- \rightarrow \text{hadrons}$. L'ajustement d'un calcul analytique QCD aux distributions expérimentales décrivant la forme des événements a permis de déterminer α_s avec les données de L3 pour des énergies allant de 130 GeV à 209 GeV. Les valeurs de la constante α_s obtenues à ces hautes énergies, comparées à celles mesurées précédemment par L3, sont en bon accord avec l'évolution prédite par la théorie (la constante décroît avec l'énergie croissante) comme illustré Figure 1.

En utilisant les mesures de L3 effectuées avec la même méthode entre 30 GeV et 209 GeV, l'ajuste-

ment de la dépendance en énergie de α_s prédite par QCD aux 16 mesures de L3 a permis alors d'obtenir la valeur finale : $\alpha_s(m_Z) = 0.122 \pm 0.0012 \pm 0.0058$ où la première incertitude est expérimentale et la deuxième théorique.

Une détermination plus précise de la constante de couplage fort à partir des mesures effectuées par L3 ne sera possible que lorsque des calculs théoriques plus précis des corrections d'ordre supérieur existeront.

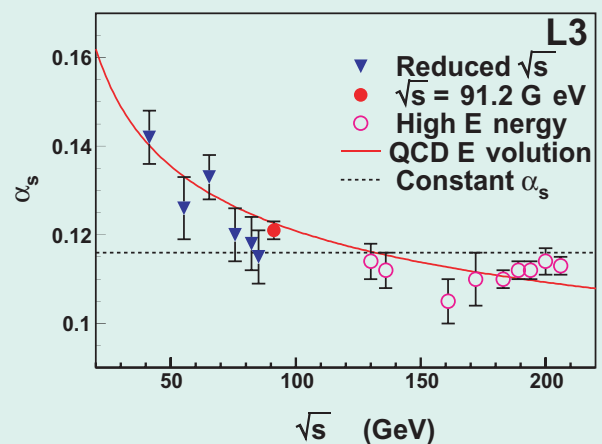


Figure 1 : Valeurs de α_s déterminées en fonction de l'énergie (\sqrt{s}) à partir des variables topologiques avec le détecteur L3. La courbe représente la prédiction de QCD.

Ces derniers résultats de L3 sur ce sujet ont fait l'objet d'une publication qui est la première du genre, c'est-à-dire incluant l'ensemble des données de LEP obtenues avec le même détecteur pour la mesure de la constante de l'interaction forte.

2. Etude de phénomènes d'interférence de couleur dans le processus $e^+e^- \rightarrow WW \rightarrow \text{hadrons}$

Dans le cas où les deux W se désintègrent en paires de quarks ($e^+e^- \rightarrow WW \rightarrow qq\bar{q}\bar{q}$), la théorie QCD suggère que, lors de la fragmentation des quarks, des interactions fortes pourraient survenir entre les deux systèmes

hadroniques correspondant aux deux bosons W (interactions dans l'état final).

Une étude des événements 4-jets de hadrons issus des paires de W, ayant comme objectif de chercher d'éventuels signes de phénomènes dits de « recombinaison de couleur », a été réalisée. La méthode originale développée au LAPP était basée sur l'étude des flux de particules produits entre les jets issus d'un même W et entre les jets issus de deux W différents.

Cette analyse a été appliquée aux données L3 prises entre 189 GeV et 209 GeV. La méthode mise au point a ensuite été utilisée par chacune des expériences LEP. Les résultats de l'analyse, indiqués Figure 2, ont donné lieu à une publication.

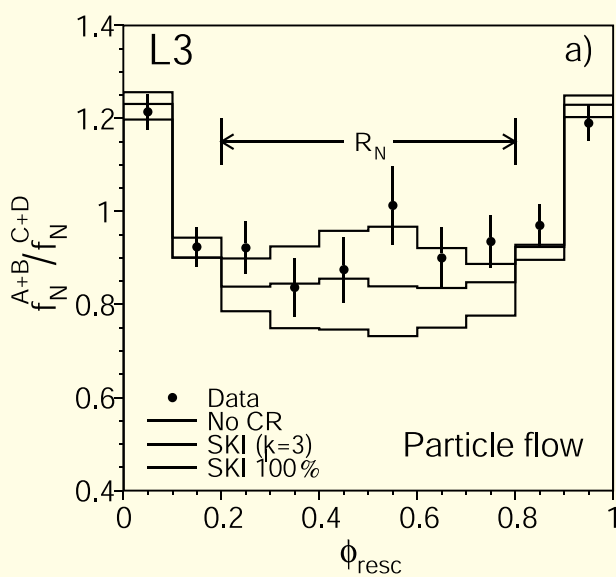


Figure 2 : Rapport des distributions du flux de particules mesuré entre les jets d'un même W avec le flux mesuré entre les jets de différents W. Les lignes correspondent à la prédiction du modèle sans effet de recombinaison de couleur et aux prédictions d'un modèle (SKI) pour deux probabilités de recombinaison.

L'étude de ces effets de recombinaison de couleur s'est révélée très complexe et les résultats reposent essentiellement sur des modèles phénoménologiques. L3 a extrait une limite sur l'existence de tels effets dans le cadre du modèle le moins contestable (SKI). La probabilité que deux systèmes hadroniques produits par deux W interagissent est estimée inférieure à 40 % avec 90 % de niveau de confiance.

Recherche de particules SuperSYmétriques

Des problèmes de cohérence interne du Modèle Standard imposent de le considérer comme un modèle de basse énergie d'une théorie plus fondamentale, la SuperSYmétrie. Cette théorie prévoit l'existence de nouvelles particules : à chaque boson (spin 0 ou 1) est associé un nouveau fermion (spin 1/2), et à chaque fermion un nouveau boson. Ainsi sont recherchés : des leptons scalaires ($\tilde{\ell} = \tilde{e}, \tilde{\mu}, \tilde{\tau}$), des quarks scalaires (\tilde{q}), des charginos ($\chi_{1,2}^\pm$) partenaires des bosons chargés W^\pm et H^\pm et

enfin des neutralinos ($\chi_1^0, \chi_2^0, \chi_3^0, \chi_4^0$) par ordre de masse, partenaires des bosons neutres γ, Z et H .

A LEP2, ces particules X sont supposées être produites en paires dans les interactions : $e^+e^- \rightarrow X X$.

En supposant la conservation d'un nouveau nombre quantique, la R-parité, le (χ_1^0) est la particule la plus légère, ne se désintégrant pas et interagissant faiblement avec la matière. Les particules supersymétriques sont alors supposées se désintégrer en une ou plusieurs particules du Modèle Standard plus un neutralino ou un neutrino scalaire.

Exemples : $\tilde{\ell}^\pm \rightarrow \ell^\pm \chi_1^0$ ou $\chi^\pm \rightarrow f \bar{f} \chi_1^0$ (où f = fermion)
 $\tilde{q} \rightarrow q \chi_1^0$ ou $\tilde{\tau} \rightarrow b \tilde{\nu}$

L'ensemble des données collectées par L3 à LEP2, et plus particulièrement celles obtenues la dernière année jusqu'à $\sqrt{s} = 209$ GeV, ont permis d'obtenir les résultats ultimes de L3 sur les recherches de leptons scalaires et de quarks scalaires d'une part, de charginos et de neutralinos d'autre part. Ces analyses et interprétations des résultats, auxquelles le groupe du LAPP a pris une part très importante, ont donné lieu à deux publications.

A titre d'exemple, la limite absolue sur la masse de l'électron scalaire le plus léger est indiquée Figure 3, dans le cas de l'extension SuperSYmétrique Minimale du Modèle Standard, en fonction de $\tan\beta$, un paramètre important de ce modèle.

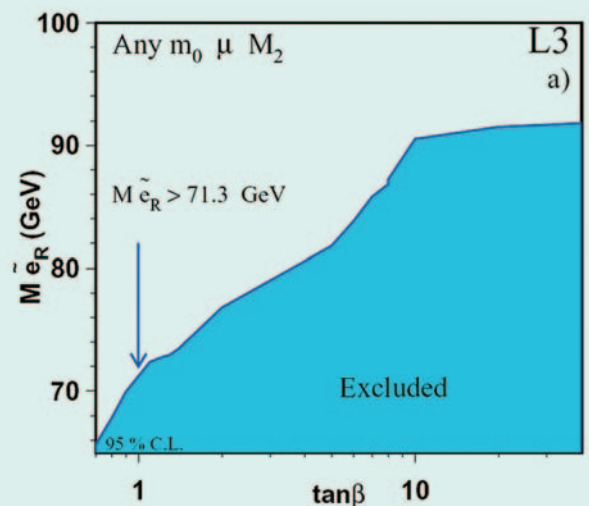


Figure 3 : Limite sur la masse de l'électron scalaire en fonction de $\tan\beta$.

De même, la limite absolue obtenue pour la masse du chargino le plus léger χ_1^\pm est montrée Figure 4, en fonction de la différence de masse $\Delta M = M_{\chi_1^\pm} - M_{\chi_1^0}$.

Enfin, sur la Figure 5, est présentée la limite de masse obtenue pour les quarks scalaires, en fonction de la masse du gluino, le partenaire supersymétrique du gluon vecteur de l'interaction forte. Elle est également comparée aux

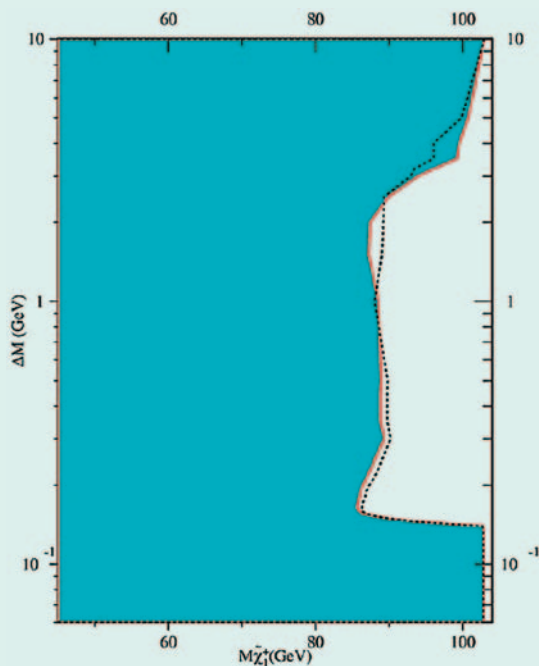


Figure 4 : Limite obtenue sur la masse du chargino le plus léger en fonction de ΔM , sa différence de masse avec la particule supersymétrique la plus légère. La limite attendue est représentée par la courbe en pointillés.

limites obtenues aux collisionneurs hadroniques de plus hautes énergies.

Activités générales

Deux physiciens du groupe du LAPP ont également représenté l'expérience L3 dans les groupes de travail mis sur pied par le CERN pour combiner les résultats obtenus par les 4 expériences LEP.

L'un d'eux, D. Duchesneau, a participé au groupe de travail « Interactions dans l'état final » dans le cadre du groupe WW du LEP qui s'intéresse à la méthode développée au LAPP pour l'étude des effets de « recombinaison de couleur ». Il a abouti à la production de la première combinaison des données disponibles. L'autre, S. Rosier-Lees, a contribué au groupe de travail « SUSY au LEP » et a, en particulier, été responsable de la combinaison des résultats de recherche des charginos.

Les membres du groupe LAPP ont aussi participé à la rédaction de différentes publications de l'expérience L3 et ont souvent joué le rôle de référés internes.

Ils ont également eu l'occasion de présenter les résultats des recherches lors d'ateliers spécialisés ou de Conférences Internationales.

Enfin plusieurs membres du groupe ont participé au Groupement de Recherche SUSY du CNRS regroupant expérimentateurs et théoriciens.

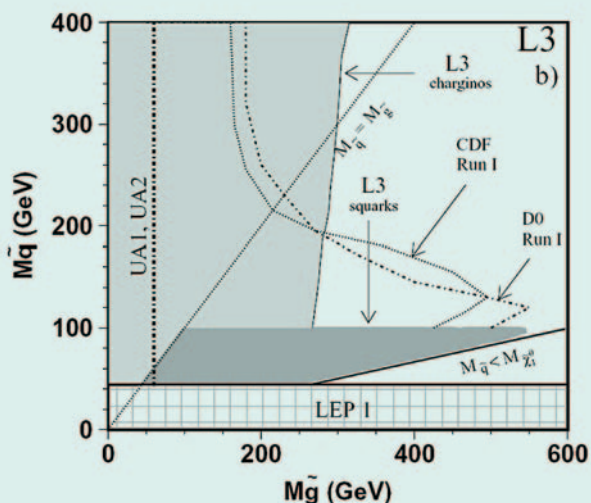


Figure 5 : Limite obtenue sur la masse des quarks scalaires en fonction de la masse du gluino. Les limites obtenues par les expériences sur collisionneurs hadroniques (UA1, UA2, CDF, D0) sont également indiquées.



Collaboration internationale regroupant 50 instituts dont 2 laboratoires français : LAPP Anney et IPN Lyon.

Pour en savoir plus

<http://www.lapp.in2p3.fr/l3/group13.html>
<http://l3.web.cern.ch/l3>

Expériences ATLAS au LHC

Participation du LAPP

Expérimentateurs : B. Aubert, J. Colas, L. Di Ciaccio, P. Ghez, M. Gouanère, R. Lafaye, P. Perrodo, L. Poggioli, H. Przysiezniak, G. Sauvage, **I. Wingerter-Seez**

Equipe technique : J. Ballansat, J-F. Ballansat, J-P. Baud, P. Baudin, A. Bazan, Y. Beeldens, F. Bellachia, H. Bonnefon, T. Bouedo, M. Cailles, G. Daguin, P. Delebecque, N. Dumont-Dayot, C. Girard, G. Ionescu, A. Jeremie, N. Massol, M. Moynot, J-M. Nappa, J-L. Panazol, G. Perrot, J. Prast, J. Tassan

Visiteurs étrangers : M. Aharrouche, S. Charifa, M. El-Kacimi, D. Goujdami

Doctorants : O. Gaumer, C. Le Maner, D. Prieur, F. Tarrade

Stagiaires : J. Anglade, N. Chevillot, M. Flament

Abstract

ATLAS is one of the two general purpose detectors designed to study proton-proton collisions at 14 TeV at the large hadron collider to be built in the LEP tunnel at CERN. One main feature of this detector is a very fine grain liquid argon electromagnetic calorimeter specially suited for the search of the Higgs boson decays. Our laboratory, which has a great expertise in electromagnetic calorimetry, is deeply involved

Le détecteur ATLAS

Le principe de base de la physique expérimentale au LHC est l'identification et la mesure des paramètres cinématiques des électrons, photons, muons, jets et énergie transverse manquante dans un environnement hadronique très dense. La collaboration ATLAS a ainsi conçu son détecteur autour de deux choix vitaux pour la physique : un grand aimant à champ toroïdal pour reconstruire avec précision l'impulsion des muons et un calorimètre électromagnétique à argon liquide pour identifier et reconstruire les paramètres cinématiques des photons et des électrons. Ces appareillages sont complétés par un détecteur de traces qui utilise des technologies adaptées à l'environnement du LHC et un calorimètre hadronique, sandwich de fer et de

scintillateurs, pour mesurer l'énergie des hadrons et filtrer les muons.

La plupart des laboratoires français se sont regroupés dans ATLAS sur la construction du calorimètre électromagnétique à argon liquide (Figure 1). Les avantages de cette technique de calorimétrie sont aujourd'hui bien connus : possibilité de construire un détecteur uniforme, stable dans le temps, minimisant les zones mortes, qui s'étalonne facilement et possède une grande résistance aux radiations. Cela s'est concrétisé dans la collaboration ATLAS par le choix d'une géométrie accordéon et d'une électronique de lecture qui permet de lire rapidement les signaux et de conserver un niveau de bruit électronique acceptable pour la physique.

Participation du LAPP à ATLAS

Le groupe ATLAS-LAPP a participé à la construction, le câblage et les tests d'environ un tiers des modules de la partie tonneau du calorimètre électromagnétique à argon liquide d'ATLAS (cylindre de couleur verte sur la Figure 1). Le cylindre de six mètres de long et de quatre mètres de diamètre a ensuite été assemblé pendant l'année 2003 au CERN. Parallèlement, au cours des années 2002 et 2003, la conception des cartes d'électronique a évolué vers la fabrication des prototypes finals.

Le groupe a poursuivi l'étude des données de tests des modules de production. Le développement du software online et offline a permis de mettre en place des bancs de tests et aussi de préparer les prises de données futures.

Un test d'une partie d'ATLAS combinant les détecteurs de traces, calorimètres, chambres à muons, se déroulera en 2004 auprès du SPS du CERN. Avec la fin de la construction du calorimètre, le groupe peut s'orienter plus franchement vers la préparation de la prise de données prévue

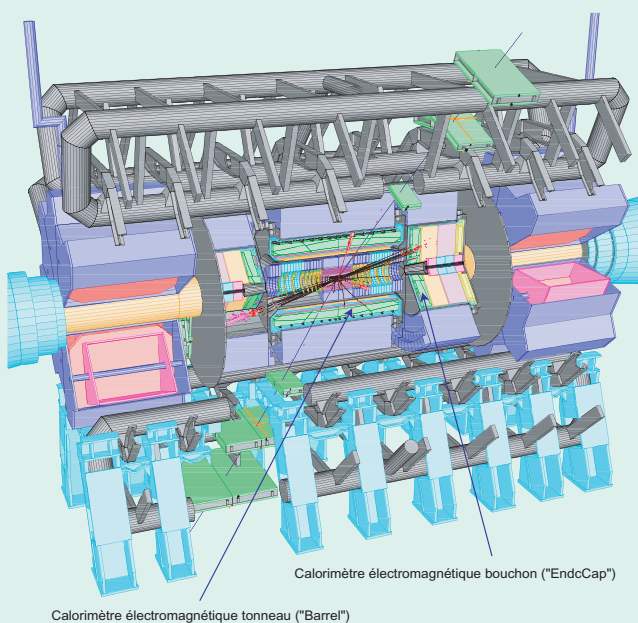


Figure 1 : Le détecteur Atlas.

en avril 2007 : logiciels de reconstruction, réception du détecteur et étude de ses performances.

Préparation du détecteur et des programmes

1. Mécanique

Le calorimètre électromagnétique central à argon liquide d'ATLAS est composé de 2 roues de 16 modules. Chaque module repose sur des arceaux extérieurs en acier inoxydable, qui, une fois reconstitués en anneau, supporteront le poids de la roue (environ 50 tonnes).

- Construction des modules du calorimètre

Les années 2002-2003 ont vu la construction des 32 modules des 2 roues du calorimètre s'achever. Ainsi au LAPP, un des 3 sites de construction, nous avons assemblé 9 modules, câblé 11 modules et testé au froid 10 modules. De plus, en vue du test combiné de 2004, le module prototype a été réassemblé avec les électrodes définitives et câblé. Tout au long de cette période, une série de tests électriques a été faite à chaque étape pour s'assurer du bon fonctionnement des modules : tests de la connectique (test TBF : injection d'un signal sinusoïdal sur la ligne Haute Tension -HT- et lecture du signal induit sur les voies signal), tenue haute tension (test : 2200V lors de l'assemblage, 1400V lors du câblage et 2000V lors du test en froid, 2000V étant la tension de travail au LHC), tests des cartes sommatriques et cartes mères (électronique froide) placées directement sur le module (test TPA : injection d'un signal carré sur les voies d'étalonnage et mesure du temps de montée sur les voies signal).

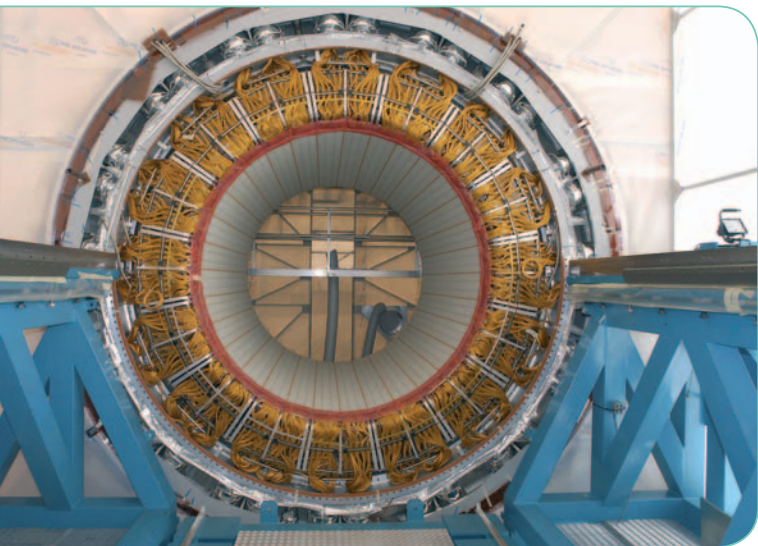


Figure 2 : Première roue insérée dans le cryostat et câblée.

- Assemblage des 2 roues du calorimètre

Une fois testés au froid, les modules ont été envoyés au CERN au bâtiment 180 où a eu lieu l'assemblage de 16 modules en une roue. Nous avons participé à cet assemblage, notamment le serrage au couple nécessaire des arceaux extérieurs entre eux, à l'installation de l'anneau extérieur à $z=0$ et au raccordement des arceaux intérieurs

entre eux. Lors de cette étape, des tests HT ont été effectués. Les 2 roues du calorimètre ont été insérées dans le cryostat central d'ATLAS. L'assemblage de la première roue a été terminé en septembre 2002 et celui de la deuxième en juillet 2003. Après insertion dans le cryostat (Figure 2), le câblage des 2 roues aux passages de câble à travers les parois froides et chaudes du cryostat a été réalisé. De nouveau, des tests (TBF, TPA, HT) ont été effectués pour s'assurer du bon fonctionnement du calorimètre. La prochaine étape sera, pour le groupe, la mise en froid de tout le calorimètre prévue début 2004, pendant laquelle aura notamment lieu un test à la haute tension nominale (2000V) du calorimètre. Le calorimètre sera alors prêt à être installé dans le puits ATLAS.

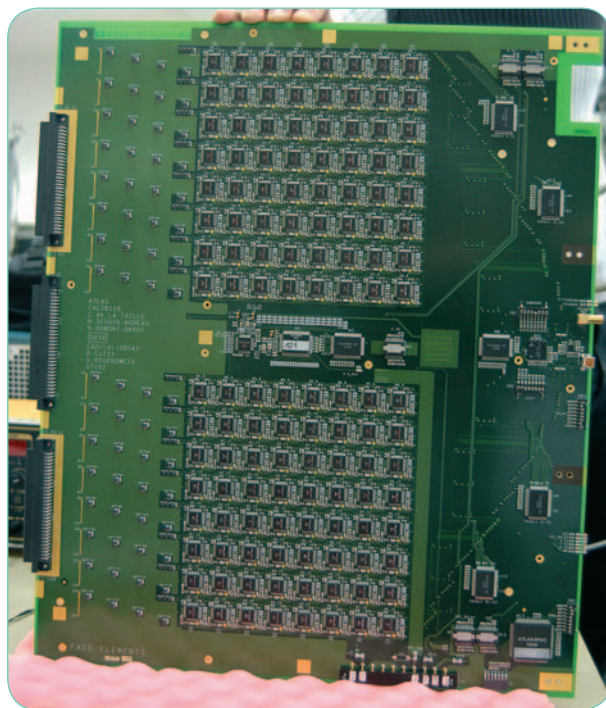


Figure 3 : La carte de calibration finale.

2. Electronique

- Carte électronique d'étalonnage

Le groupe du LAPP participe à deux projets en électronique : les cartes de calibration et les cartes RODs (Read Out Driver). L'injection dans chaque cellule du calorimètre d'impulsions électriques permet l'étalonnage de ce dernier avec une précision de 1/1000. A cet effet, une carte a été développée, en collaboration avec le LAL Orsay (Figure 3). Le groupe a conçu un circuit ASIC, permettant la configuration de la carte. Il a également contribué à la campagne de validation de ces circuits en radiation, ainsi qu'à la qualification des circuits retard équipant la carte.

Le LAPP a contribué à l'implémentation de la carte d'étalonnage dans le test du châssis FrontEnd, qui se met en place à BNL (Brookhaven, USA).

Le laboratoire met aussi en place le banc de test pour la production des 130 cartes qui seront produites courant 2004.

- Electronique de traitement du signal

Le rôle des cartes ROD est de calculer l'énergie, en moins de 10 microsecondes par événement, à partir des échantillons du signal envoyés par les cartes FrontEnd. Une carte ROD est équipée de quatre cartes filles, chacune équipée de deux DSP (Digital Signal Processor) pour le traitement des données.

Le LAPP a finalisé un premier design de cartes filles équipant la carte ROD. Ces cartes assurent la lecture du FrontEnd dans le banc de test de Brookhaven. Le prototype final de la carte fille (Figure 4) a été produit pendant l'été 2003 ; il a été utilisé pour le test du système ROD qui a eu lieu à l'automne 2003.

Pour permettre d'injecter des signaux contrôlés aux cartes ROD et les tester, une carte injecteur (au format 9U) a été développée au laboratoire. Quatre cartes de ce type serviront pour le test du système ROD.

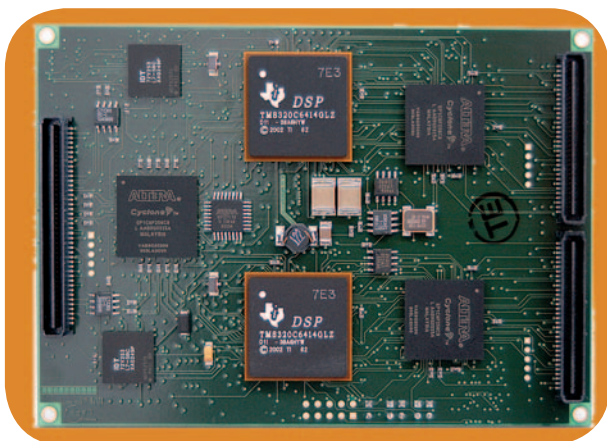


Figure 4 : La carte fille finale.

Le groupe du LAPP ayant en charge le banc de test des cartes ROD finales, un ensemble cohérent de hardware et software a été mis en place. Le laboratoire ayant en charge la coordination de l'activité BackEnd (ROD, lecture des ROD, software online), il participe activement à l'installation du système de test qui se déroulera au CERN.

3. Informatique

L'équipe software online du LAPP développe les outils permettant de contrôler les équipements électroniques et la prise de données, dans le cadre du système d'acquisition

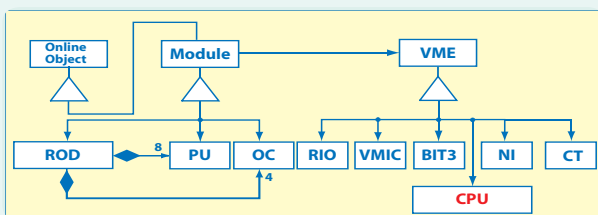


Figure 5 : Description de la structure en « module » du Software Online.

de données d'ATLAS développé par le CERN. L'accent a surtout porté sur :

- La modularité du code en fonction de la nature des cartes : la notion de module, illustrée par la figure 5, permet de décrire toutes les cartes d'électroniques (carte calibration, carte ROD, équipement TTC). La représentation software de chaque carte est dérivée de la classe « module ».
- Les performances du système dans son ensemble.
- Les fonctions du software, les demandes des utilisateurs, les interactions entre les différents éléments de la chaîne de lecture (Figure 6).

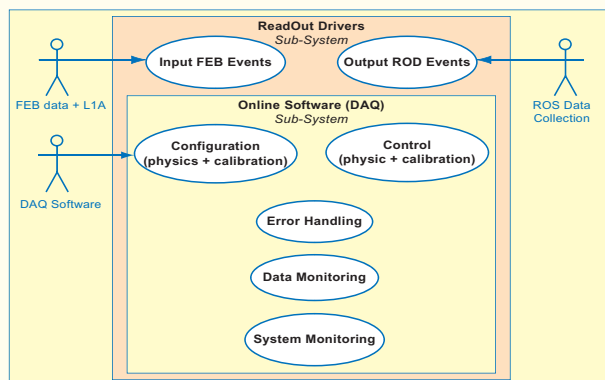


Figure 6 : Schéma du contrôle de la chaîne de lecture par le système

L'équipe du LAPP contribue à plusieurs tâches :

- Responsabilité du code LARGOnline au sein de la collaboration LARG-ATLAS.
- Développement du contrôleur des cartes ROD.
- Préparation du banc de tests de production des cartes calibration et des cartes ROD.
- Participation au test des cartes FrontEnd au laboratoire américain de Brookhaven.
- Responsabilité du online pour le test du système ROD pendant l'hiver 2003-2004.
- Responsabilité du online pour le run combiné au printemps 2004.

Pendant les années 2001-2002, Le LAPP a participé au développement d'un dictionnaire software permettant de générer automatiquement et de façon homogène, les structures de données dans ATHENA, le programme de reconstruction de ATLAS.

Suite au développement d'outils communs aux quatre expériences LHC, la collaboration a décidé de ne pas poursuivre ce projet qui s'est arrêté fin 2002.

Le développement du software offline, dans le cadre de la préparation du run combiné, a commencé pendant l'été 2003 ; le LAPP prend part à deux aspects de ce développement :

- Ecriture de convertisseurs de données.
- Mise en place d'une base de données, accessible aussi bien online, pendant la prise de données, que offline pour l'analyse plus fine des données enregistrées.

Participation aux campagnes de tests en faisceau

Pendant l'été 2002 une nouvelle campagne de tests en faisceau a eu lieu au CERN, ayant pour but d'étudier la réponse de deux nouveaux modules finals du calorimètre et d'améliorer ainsi la compréhension du fonctionnement du détecteur.

Tout en étant impliqués dans la finalisation de l'analyse des données récoltées pendant les années précédentes, les membres du groupe ATLAS-LAPP se sont engagés dans cette nouvelle campagne, assurant les mêmes responsabilités déjà assumées dans les tests précédents (installation et maintenance des différents éléments nécessaires au bon déroulement des tests) et participant à l'analyse des nouvelles données.

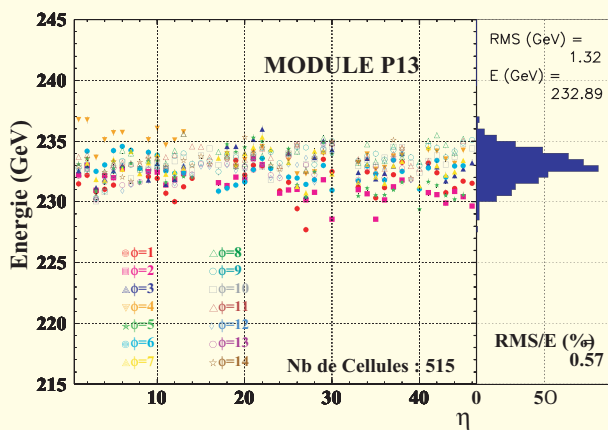


Figure 7 : Energie mesurée dans les cellules d'un module du calorimètre en fonction de la pseudorapidité, pour un faisceau d'électrons incidents de 250 GeV.

Un des paramètres importants étudié par le groupe ATLAS-LAPP est l'uniformité de la réponse en énergie en fonction de la position du faisceau incident. Les résultats obtenus pendant les deux dernières années ont mis en évidence l'existence d'une diaphonie entre les canaux électroniques du détecteur très probablement due aux contacts électriques au niveau d'une des deux traversées froides ; c'est donc une cause extérieure au module. Cet effet, plus marqué dans les données des deux derniers modules testés (probablement à cause du vieillissement de ces contacts), a été corrigé en optimisant les coefficients de gain. Ainsi l'uniformité d'un module du calorimètre, évaluée avec un faisceau d'électrons de 250 GeV, est passée de 0.95 % à 0.6% (Figure 7).

Le groupe, déjà responsable du calcul des coefficients de gain électronique et des coefficients de filtrage optimal pour la reconstruction du signal de physique, a plus récemment mis au point de nouvelles méthodes de calcul de ces paramètres visant à améliorer les performances du calorimètre en termes de résolution et d'uniformité. L'évaluation de ces nouvelles méthodes est, à l'heure actuelle, en cours.

Le groupe est engagé dans la préparation du test combiné qui aura lieu à la fin du printemps prochain et qui regroupera plusieurs sous-détecteurs. Ce test a pour but l'étude

des gerbes électromagnétiques et hadroniques dans le système complet des calorimètres d'ATLAS et représente une occasion unique pour valider la chaîne complète de lecture, l'acquisition, les programmes on-line et off-line et les programmes d'analyse.

Le groupe a exprimé son intérêt pour s'engager dans le futur immédiat sur les aspects importants de l'analyse comme la comparaison des données avec les simulations de gerbes, la compréhension de l'échelle en énergie du calorimètre et la préparation des procédures de calibration et d'intercalibration.

Préparation de l'analyse de physique

Le groupe est impliqué dans la simulation et la recherche de processus physiques au LHC, principalement dans la recherche du boson de Higgs, de la physique au delà du Modèle Standard SUSY et non-SUSY et dans l'étude des générateurs NLO (Next to Leading Order).

Trois sujets sont en cours d'investigation par les doctorants du groupe :

- La recherche du Z' dans les modèles avec de nouveaux bosons de jauge qui expliqueraient la violation de parité.
- La simulation complète du détecteur dans le but de rechercher l'état final caractérisé par une paire de photons non-pointants avec énergie manquante dans le modèle GMSB (Gauge Mediated Supersymmetry Breaking).
- La recherche du Higgs MS (Modèle Standard) produit par fusion bosonique se désintégrant en une paire de leptons τ .

De plus en 2002 et 2003, deux thèses ont été soutenues sur la recherche du boson de Higgs dans ses désintégrations invisibles et d'un Higgs de 300 GeV/c² produit par fusion bosonique (VBF) se désintégrant dans le canal $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu j$.

Le groupe participe aussi à l'organisation du Workshop des Houches qui a lieu tous les deux ans. Au Workshop 2003, des études ont été entamées notamment sur la recherche de dimensions supplémentaires universelles UED (Universal Extra Dimensions) et sur la compréhension des bruits de fond $b\bar{b}$ au LHC.

Un des membres du groupe assure la coordination du groupe de physique «exotics» de ATLAS.

Nous avons la chance d'être impliqués dans plusieurs collaborations avec des instituts à l'étranger et participons à des Groupements de Recherche (GDR) au niveau français et international. Dans le cadre du GDR-SUSY, nous travaillons à l'étude systématique des paramètres du modèle. Dans le cadre de la collaboration LAPP-Cracovie, nous travaillons étroitement avec E. Richter-Was de l'Institut de Physique de Cracovie sur la recherche du boson de Higgs au LHC. De fructueux échanges ont eu lieu entre les membres des deux laboratoires. Par ailleurs, la collaboration LAPP-Marrakech a permis à plusieurs physiciens d'effectuer des séjours au

LAPP ou l'inverse. Dans le cadre de cette collaboration, nous travaillons sur des développements de Monte Carlo NLO, ainsi que sur les dimensions supplémentaires universelles. Nous

avons également des échanges réguliers avec les membres du laboratoire de Montréal sur la physique du Higgs produit par VBF, les dimensions supplémentaires et le Z' .



Collaboration internationale regroupant plus de 140 instituts, dont 7 laboratoires français : LAPP Anecy, LPC Clermont-Ferrand, LPSC Grenoble, CPPM Marseille, LAL Orsay, LPNHE Université Paris VI-VII, CEA-DAPNIA Saclay.

Pour en savoir plus

<http://www.lapp.in2p3.fr/atlas/atlas.html>

<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/internal/Welcome.html>

Expérience CMS au LHC

Participation du LAPP

Expérimentateurs : J-P. Peigneux, J-P. Guillaud, M. Maire, J-P. Mendiburu, P. Nédélec, M. Schneegans, **D. Sillou**

Equipe technique : P-Y. David, P. Letournel

Visiteur étranger : A. Sobol

Abstract

In 2002-2003, the activity of the CMS-LAPP group has been dedicated to:

- *The technical activity which concerns the crystals production measuring crystal parameters (dimensions, light yield,...) and checking their behavior under irradiation.*
- *Feasibility studies concerning diffractive and central region physics around CMS and CMS TOTEM. This work is done in collaboration with IHEP Protvino. It concerns as well the physics generators of dual Pomeron exchange as experimental simulations.*
- *Several developments or improvements have been done concerning the description of electromagnetic processes in GEANT4 (transition radiation effects, scintillation processes) to satisfy the requirements from heavy ions or high energy cosmic rays experiments.*

L'expérience CMS est construite autour du LHC (Large Hadron Collider). Le détecteur électromagnétique (ECAL) composé de cristaux de tungstate de plomb (PbWO₄) est situé dans un solénoïde supraconducteur de 4 Tesla. Le ECAL doit mesurer les particules avec une précision de $2\%/\sqrt{E} + 0.5\% + 200\text{MeV}/E$.

Au cours de la période 2002-2003, l'activité du groupe a couvert quatre domaines concernant différents aspects de CMS : technique de mesure des cristaux, étude de processus de physique, simulations des détecteurs et étude de la production et des propriétés des cristaux.

ACCOS

Le banc de contrôle automatique A.C.C.O.S. mis au point au cours des années précédentes, permet une mesure des caractéristiques optiques et dimensionnelles des cristaux de tungstate de plomb utilisés dans CMS. Il permet de mesurer en permanence les caractéristiques des cristaux reçus des centres de production.

CMS -TOTEM

Plusieurs membres du groupe travaillent depuis de très nombreuses années sur le thème des interactions physiques dans la région centrale. L'intérêt de cette physique porte sur l'accroissement de l'énergie, dans la mesure où l'échange à deux Pomérons (DPE) devient dominant. La faisabilité de ce type de physique au LHC a été démontrée dans le travail de thèse de A. Sobol effectué au LAPP sous la direction de J-P. Guillaud.

Le travail du groupe dans cette direction s'est concentré sur les processus :

- Production «centrale» de Higgs (pp-pHp) au LHC à haute luminosité ($10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$).
- Production centrale de «glueballs» (pp-pXp) par la désintégration de la particule centrale X en états riches en gluons, au LHC à basse luminosité ($10^{28} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$).
- Effets des dimensions supplémentaires de l'espace-temps par la détection éventuelle de radions au LHC à haute luminosité.

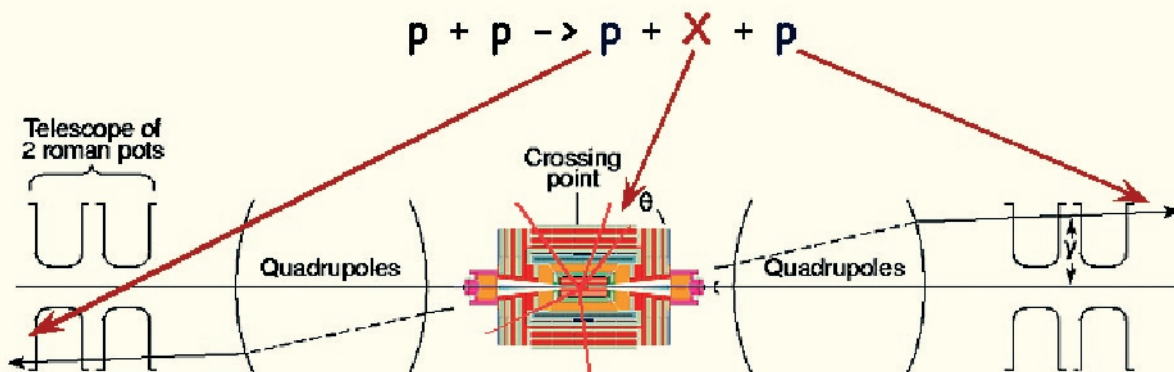


Figure 1 : Le détecteur TOTEM permet de signer deux protons sortant de la zone d'interaction et d'étudier les événements de la région centrale à l'aide du détecteur CMS. Le nombre de particules de Higgs attendu parmi ces événements est particulièrement favorable.

En pratique, un travail préparatoire, semi-théorique, concernant l'implantation de générateurs pour la physique a été effectué en collaboration avec le groupe IHEP-CMS (Prof. V. Petrov). Par la suite, plusieurs Monte-Carlo, correspondant aux conditions expérimentales de CMS ou de CMS+TOTEM, ont été réalisés pour étayer les propositions expérimentales. Ce travail très avancé est en cours de finalisation par inclusion de compléments expérimentaux dans les simulations. Il faut noter que ces développements intéressent également d'autres expériences LHC notamment ATLAS. Ce travail bénéficiera dans les années à venir du soutien de l'IN2P3 à travers un PICS qui débutera en 2004.

GEANT4

Le logiciel GEANT est devenu le logiciel de référence pour des simulations concernant les interactions particules matière, dans un nombre croissant de domaines (physique nucléaire, astrophysique, électronique, médecine...).

Le développement et la maintenance du logiciel Geant4, qui est utilisé dans les expériences LHC, a bien sûr continué au cours de la période 2002-2003. Le LAPP est impliqué dans le groupe de travail « physique électromagnétique » dont l'activité s'est focalisée sur :

- Le développement du processus de diffusion multiple.
- L'étude de l'ionisation induite par des ions lourds.
- Le développement de quelques processus à très hautes énergies pour l'étude des rayons cosmiques.
- Le phénomène de scintillation et le rayonnement de transition.
- La ré-écriture des processus d'ionisation et de bremsstrahlung.

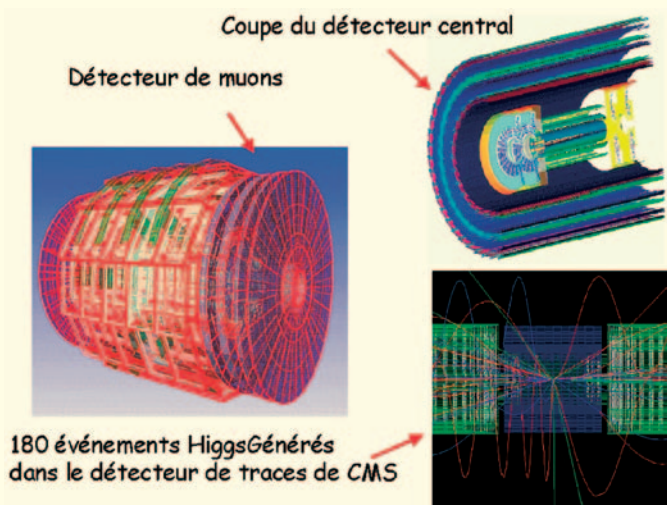


Figure 2 : Vue du détecteur de CMS et simulation d'événements physiques par GEANT4.

Le support aux utilisateurs, via un système d'hypernews publique, et l'organisation de tutoriels ont représenté une part importante de l'activité du groupe.

La collaboration CMS continue l'évaluation et la validation du logiciel pour ses propres besoins. Elle a écrit une description complète du détecteur (programme OSCAR), incluant le calorimètre électromagnétique, et a commencé une production massive d'événements LHC.

Par ailleurs nous poursuivons une collaboration avec un industriel de l'électronique qui utilise le logiciel GEANT pour certaines de ses études.

GIF-ECAL

La source GIF, au CERN, avec le banc automatique mis en place par le groupe CMS-LAPP permet l'irradiation et le contrôle en ligne des dommages dus aux radiations. Ce dispositif utilisé initialement pour la mise au point de la technique du double dopage et l'ajustement des conditions de préproduction des cristaux a été utilisé depuis 2000 pour le suivi de production des cristaux de PbWO₄ et pour l'étude des problèmes de monitoring.

Un laser UV a été adjoint au dispositif en 2001 et le banc lui-même a connu des améliorations importantes pour répondre aux besoins en précision de ces mesures. Les résultats de ces améliorations sont résumés sur la Table 1. Ils sont aussi illustrés sur la Figure 3 qui montre que la stabilité des mesures (avec LED ou laser UV) est au niveau de quelques pour mille.

	2003	2002
Dispersion crystal-crystal *	9.4%± 0.2	8.9%± 1.93
Dispersion irradiation-irradiation *	6.6%± 0.6	11.7%± 0.93

Table 1 : Amélioration des mesures 2003 à la suite des améliorations du dispositif fin 2002.

ECAL + HCAL données expérimentales comparaison avec GEANT3 - GEANT4

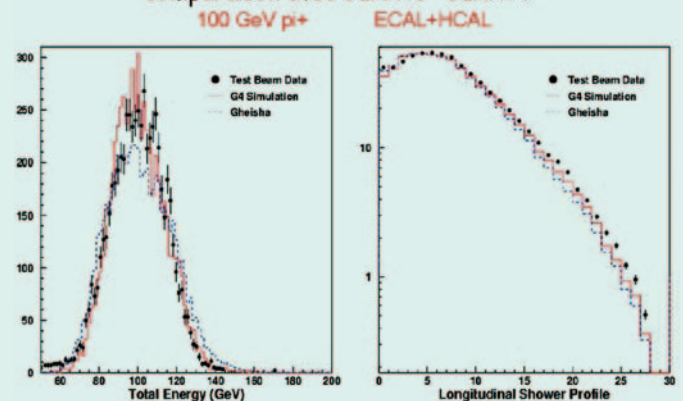


Figure 3 : Comparaison des données expérimentales et des simulations GEANT3 - GEANT4 pour des gerbes hadroniques.

L'expérience acquise par GIF-ECAL nous a convaincus des difficultés du monitoring des cristaux. Ces difficultés résident à la fois dans l'exigence de précision des mesures de monitoring (quelques 1/1000), et dans les sources multiples de fluctuation de la réponse des cristaux (température qui joue à la fois sur les cristaux et sur les photodétecteurs, taux de radiation, contacts optiques, longueur d'onde des sources lumineuses de monitoring...). Ces nombreuses sources de fluctuation nous ont également convaincus de l'importance de disposer d'une calibration indépendante de l'électronique, tant pour la chaîne de monitoring que pour la chaîne de mesure.

En ce qui concerne les mesures de contrôle de qualité des

cristaux proprement dites, nous avons constaté que les cristaux des dernières livraisons sont, pour l'essentiel (85% d'entre eux), conformes à nos attentes. Une partie des cristaux montre cependant un comportement très différent. La raison pourrait tenir soit dans un traitement thermique insuffisant, soit dans les développements de nouvelles techniques destinées à augmenter la capacité de production. Ce problème est en cours d'investigation.

L'activité du banc de mesure GIF-ECAL est maintenant terminée en raison essentiellement d'une pénurie de personnel susceptible de maintenir cette activité. Nous ne pouvons qu'espérer que le suivi de la production des cristaux n'en souffrira pas.

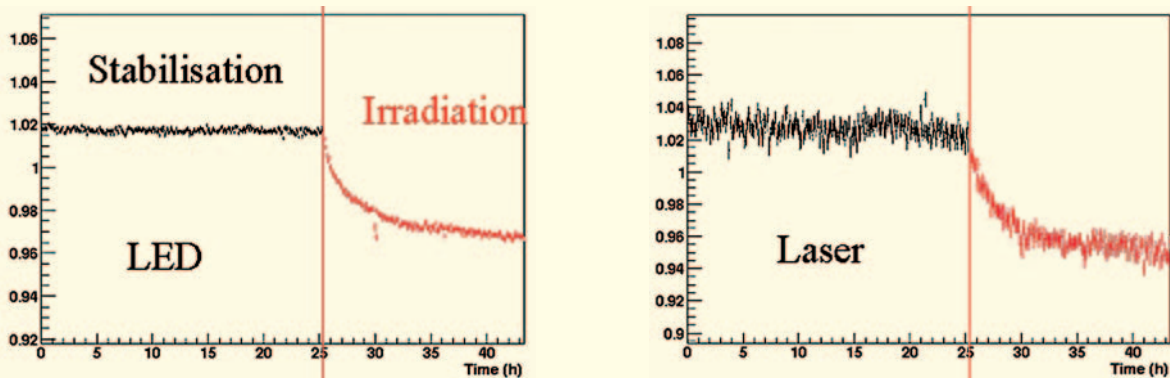


Figure 4 : Mesure de transparence des cristaux, en fonction du temps d'irradiation, avec deux sources lumineuses (LED [en haut] ou laser UV [en bas]). Le laser permet d'exciter la scintillation du cristal et donc de mesurer sa transparence pour un spectre voisin de celui généré par des particules.

Collaboration internationale regroupant 159 instituts dont 5 laboratoires français : LAPP Ancey, DAPNIA-CEA Saclay, LPNHE Palaiseau, IReS Strasbourg, IPN Lyon.

Pour en savoir plus

<http://www.lapp.in2p3.fr/cms/Welcome.html>

<http://cmsinfo.cern.ch/Welcome.html>

<http://cmsfrance.in2p3.fr/>