

# Expérience L3 au LEP

## Participation du LAPP

**Expérimentateurs :** A. Balandras, Sw. Banerjee, J.-J. Blaising, F. Brochu, **G. Coignet**, A. Degré, D. Duchesneau, D. Perret-Gallix, S. Rosier-Lees, M. Vivargent (éméritat)

**Equipe technique :** F. Chollet, D. Dufournaud, G. Perrot

**Stagiaires :** E. Treboux

## Collaboration

Collaboration internationale regroupant 50 instituts dont 2 laboratoires français : LAPP Annecy, IPN Lyon.

## Dates Clés

1982 : Acceptation de l'expérience

1989-1995 : Prises et analyses de données à LEP1

1995-2000 : Prises et analyses de données à LEP2

Nov. 2000 : Arrêt définitif du LEP

## Abstract

*From 2000 to 2001 the LAPP group has pursued its activity within the L3 Collaboration. It mainly contributed to data taking, on-line monitoring, maintenance of sub-detectors, run coordination and analysis of events collected at center of mass energy varying from 202 GeV to 209 GeV in 2000, and data analysis with special emphasis on study of hadronic final state events, QCD tests, search for supersymmetric particles and interpretation of the results.*

Au cours de l'année 2000, pour sa dernière année de fonctionnement, le collisionneur  $e^+e^-$  LEP a fonctionné à des énergies de collisions dans le centre de masse ( $E_{cm}$ ) de 202 à 209 GeV. Les données enregistrées, correspondant à une luminosité intégrée de  $217 \text{ pb}^{-1}$ , ont permis d'accroître le domaine de masse atteignable pour la recherche de nouvelles particules. De plus, ajoutées aux données collectées précédemment à  $130 < E_{cm} < 202 \text{ GeV}$ , pour une luminosité totale de plus de  $600 \text{ pb}^{-1}$ , elles ont permis d'améliorer à nouveau la précision des tests du Modèle Standard. L'analyse des données et la publication des résultats, qui seront les derniers obtenus au LEP, se sont poursuivies en 2001.

Le groupe du LAPP a poursuivi sa collaboration au sein de l'expérience L3 au LEP. Il a réparti son activité entre :

- la prise de données, incluant le contrôle de sous-ensembles du détecteur,
- l'analyse des données pour l'étude de réactions spécifiques.

D'autre part les physiciens du groupe ont pris des responsabilités importantes tant à la préparation des résultats qu'à leur publication. Ils ont aussi assumé des rôles clés dans l'organisation et le fonctionnement de l'expérience : un membre président du comité de direction de l'expérience en 2000 (J.-J. Blaising), deux membres responsables de groupes d'analyses (D. Duchesneau et S. Rosier-Lees) et deux membres participant à des comités d'organisation interne (G. Coignet et S. Rosier-Lees).

De plus deux membres (D. Duchesneau et S. Rosier-Lees) ont représenté l'expérience L3 dans des groupes de travail du CERN chargés de rassembler les résultats obtenus par les 4 expériences LEP.

Enfin plusieurs membres du groupe ont participé activement au Groupement de Recherche SUSY au CNRS regroupant

expérimentateurs et théoriciens français intéressés par les développements de la supersymétrie.

## Acquisition de données et contrôle du détecteur

Le groupe a contribué de façon active à la prise de données ainsi qu'au fonctionnement du détecteur en assumant des responsabilités dans différents secteurs :

- Contrôle de l'acquisition globale des données, du fonctionnement de l'ensemble du détecteur et de la prise de données (J.-J. Blaising). Ce physicien a également participé aux Ateliers de Chamonix au cours desquels le programme du fonctionnement du LEP est défini pour l'année en cours.
- Pleine responsabilité du fonctionnement du système de déclenchement de deuxième niveau. Ce système développé autour de la technologie de transputeurs interconnectés par deux routeurs dynamiques permet de :
  - collecter et assembler l'ensemble des données de déclenchement fournis par le premier niveau,
  - rejeter une bonne partie des événements de bruits de fond.
- Surveillance en ligne, maintenance, calibration et analyse des données enregistrées par le détecteur électromagnétique. Ce dernier composé de près de 11.000 cristaux de Germanate de Bismuth (BGO) permet de mesurer les énergies des électrons/photons de 100 GeV avec une résolution en énergie de 1%. La calibration en énergie est effectuée en utilisant d'une part la réaction  $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$  et d'autre part les photons de 17.6 MeV produits par réaction nucléaire à l'aide d'un petit accélérateur de protons (RFQ).

En 2001 le groupe a participé au démontage de l'ensemble du Calorimètre Electromagnétique.

## Analyse des données et interprétations des résultats

Les données collectées par L3 ces dernières années ont permis d'améliorer nos connaissances dans de nombreux domaines : production de paires de bosons W et Z et étude de leurs propriétés ; production de paires de fermions et de hadrons en général ; études de collisions photon-photon ; recherches de nouvelles particules.

En 2000 et 2001, le groupe du LAPP a plus particulièrement poursuivi l'analyse des données collectées par L3 à LEP dans les domaines suivants :

- Étude des événements hadroniques et tests de la théorie QCD.
- Recherche de Particules Supersymétriques.
- Ajustement de générateurs d'événements.

Ces travaux ont nécessité de simuler et de reconstruire un grand nombre d'événements tant sur les ordinateurs du CERN que sur ceux du CCIN2P3. En particulier la mise à jour de l'ensemble des programmes de L3 au CCIN2P3 a été assurée par un ingénieur du LAPP.

### a) Étude des événements hadroniques et tests de la théorie QCD

La théorie des interactions fortes (QCD) prédit une dépendance de la constante de couplage  $\alpha_s$  en fonction de l'énergie. Cette caractéristique se traduit par une modification de la structure des événements hadroniques en fonction de l'énergie mise en jeu lors de la production. L'augmentation progressive de l'énergie des faisceaux du LEP a permis d'étudier, en particulier, la variation de la constante de couplage forte  $\alpha_s$  en fonction de l'énergie sur une grande gamme d'énergie avec le même détecteur ainsi que la même méthode. Les résultats obtenus avec l'ensemble des données de L3 (Figure 1) sont en bon accord avec l'évolution prédite par la théorie (la constante décroît quand l'énergie augmente) et on en déduit en particulier

$$\alpha_s(m_Z) = 0.1226 \pm 0.0012 \text{ (exp)} \pm 0.0058 \text{ (théo)}.$$

De plus l'étude de ces événements hadroniques a permis de préciser la validité des générateurs Monte Carlo utilisés pour simuler la réaction  $e^+e^- \rightarrow \text{hadrons}$  sur toute la gamme d'énergie explorée au LEP. Ces générateurs, basés sur des modèles QCD, sont utilisés dans de très nombreuses analyses. Une partie du travail effectué au LAPP a concerné l'ajustement des paramètres de ces modèles pour reproduire les distributions de forme d'événements mesurées à 91 GeV pour les quarks légers (type udsc) d'une part et les quarks b d'autre part.

Ayant l'expertise des générateurs QCD, le groupe s'est aussi investi dans une analyse ayant pour objectif la recherche d'événements hadroniques présentant un trou dans la distribution de rapidité des particules ('rapidity gap') qui

pourrait être produit par l'échange d'un objet singlet de couleur se couplant aux quarks. Cette analyse originale a permis alors de mettre une limite supérieure à 10% sur l'existence d'un tel objet dans les désintégrations hadroniques du Z.

Le fonctionnement du LEP à des énergies dans le centre de masse supérieure à 160 GeV depuis 1996 a permis de produire un grand nombre de paires de bosons  $W^+W^-$  et d'en étudier les différentes caractéristiques. Dans le cas où les deux W se désintègrent en paires quarks ( $WW \rightarrow q\bar{q}q\bar{q}$ ) la théorie QCD suggère que, lors de la fragmentation des quarks, des interactions fortes puissent survenir entre les deux systèmes hadroniques correspondant aux deux bosons W. Ces effets d'interactions dans l'état final, appelés recombinaison de couleur, modifient les caractéristiques cinématiques des jets de particules et peuvent produire un biais sur la détermination directe de la masse du W dans ce canal. Il est donc important de comprendre et éventuellement d'estimer l'ampleur de ces effets QCD. Pour cela une étude basée sur le flux de particules produites dans les événements 4-jets (Figure 2) a été imaginée et développée au laboratoire. Cette analyse qui présente la meilleure sensibilité aux effets de recombinaison de couleur a été reprise dans les analyses effectuées par les 3 autres expériences du LEP pour explorer ces effets d'interactions de l'état final dans les événements WW.

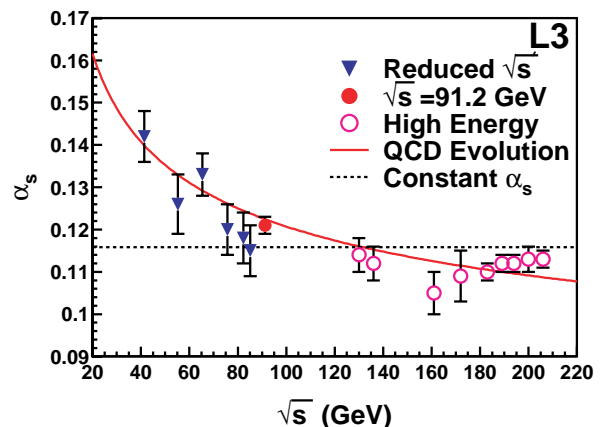


Figure 1 : Valeurs de la constante de couplage  $\alpha_s$  obtenues à partir des distributions de la structure des événements pour différentes énergies de centre de masse des collisions  $e^+e^-$

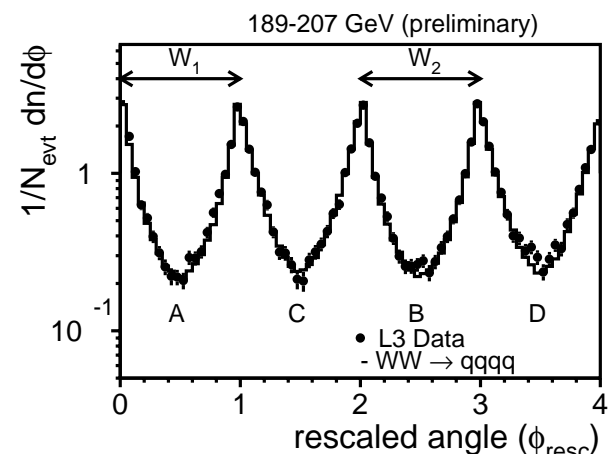


Figure 2 : Distribution du flot de particules mesuré par L3 dans les événements  $W^+W^- \rightarrow \text{hadrons}$  pour la recherche d'effets de recombinaison de couleur

## b) 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 est associé un nouveau fermion, 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  $\chi_1^\pm, \chi_2^\pm$  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  $\gamma, Z, H$ .

Les montées successives en énergie du LEP ont permis l'accès à des masses de particules de plus en plus élevées. En effet, les particules recherchées sont produites en paires dans les réactions du type  $e^+e^- \rightarrow \ell^+\ell^-$ ,  $e^+e^- \rightarrow \chi_1^+\chi_1^-$ ,  $e^+e^- \rightarrow \chi_i^0\chi_j^0$ .

Les physiciens du groupe ont pris une part très importante à l'analyse des données collectées à  $\sqrt{s} = 192$  GeV, 196 GeV, 200 GeV, 202 GeV, 205 GeV et 208 GeV.

Les résultats obtenus sont en accord avec ceux prédits par le modèle standard. Des limites sur la section efficace de production des différentes particules supersymétriques en fonction de leurs masses ont alors été déduites pour les diverses hypothèses suivantes :

a) En supposant la conservation de la R-parité, le  $\chi_1^0$  est supposé être la particule supersymétrique la plus légère ne se désintégrant pas et interagissant faiblement avec la matière. Dans ce cas les particules supersymétriques devraient se désintégrer en une ou plusieurs particules du modèle standard plus un  $\chi_1^0$ .

Exemple :  $\tilde{\ell}^\pm \rightarrow \ell^\pm \chi_1^0$  ou  $\chi_1^\pm \rightarrow \bar{f}f \chi_1^0$  (ou  $f =$  fermion).

Dans le cas des neutralinos l'étude des réactions  $e^+e^- \rightarrow \chi_i^0\chi_j^0$  suivi de  $\chi_{i,j}^0 \rightarrow \bar{f}f \chi_1^0$  a également été effectuée.

Dans le cadre de l'extension supersymétrique minimale du modèle standard de nouveaux contours d'exclusion dans l'espace des paramètres ainsi que de nouvelles limites sur les masses des particules supersymétriques ont été obtenus.

Dans les cas optimistes, les taux de production de paires de charginos sont élevés et permettent d'atteindre des sensibilités proches de la limite cinématique. Pour cette recherche, il importe d'atteindre l'énergie maximale dans le centre de masse, ce qui a aussi influencé la stratégie de fonctionnement du LEP dans les derniers mois. Avec une luminosité intégrée de  $32 \text{ pb}^{-1}$  collectée à 207.5 GeV, aucun excès n'a été observé par les quatre expériences LEP et la limite inférieure obtenue sur la masse du chargino est de 103.5 GeV, dans le cas le plus favorable. La limite combinée des quatre expériences LEP en fonction de la masse du sneutrino, le partenaire supersymétrique du neutrino, est donnée sur la Figure 3.

L'exploitation de tous les processus Susy accessibles à LEP a permis d'extraire une limite indirecte sur la masse de la LSP (le neutralino le plus léger) proche de 40 GeV, indépendante de la valeur des paramètres du modèle (Figure 4). Dans le cadre du GDR Supersymétrique, les effets du mélange dans le secteur des staus, partenaires supersymétriques des

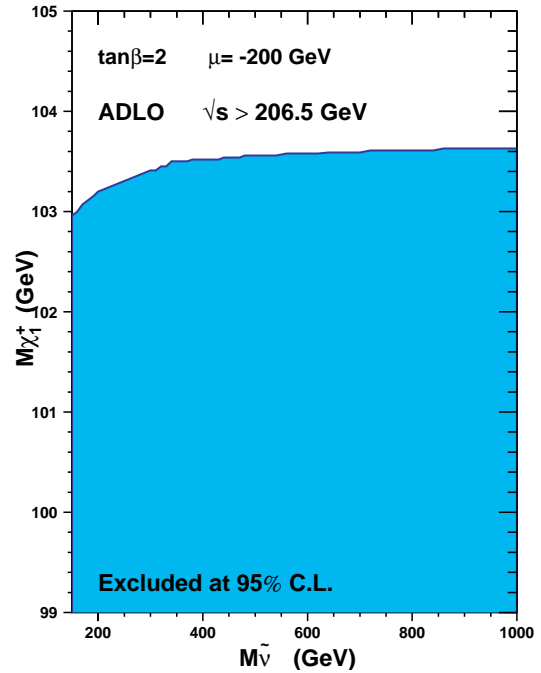


Figure 3: Limite LEP combinée sur la masse du chargino,  $m_{\chi_1^+}$ , obtenue en fonction de la masse du sneutrino

leptons taus, sur la robustesse des différentes interprétations ont été aussi étudiés.

b) Les particules supersymétriques se désintègrent en violant un nouveau nombre quantique la R-parité, directement ou indirectement, en trois fermions et plus. En particulier les désintégrations de chargino et de neutralino avec violation du nombre baryonique donnant lieu à des topologies avec plusieurs jets dans l'état final ont été recherchées. Cette étude constitue la partie principale du travail de thèse de Frédéric Brochu ; l'analyse a été étendue à l'ensemble des données et généralisée aux squarks, partenaires des quarks, en supposant la violation de la R-parité dans les modes directs ou indirects.

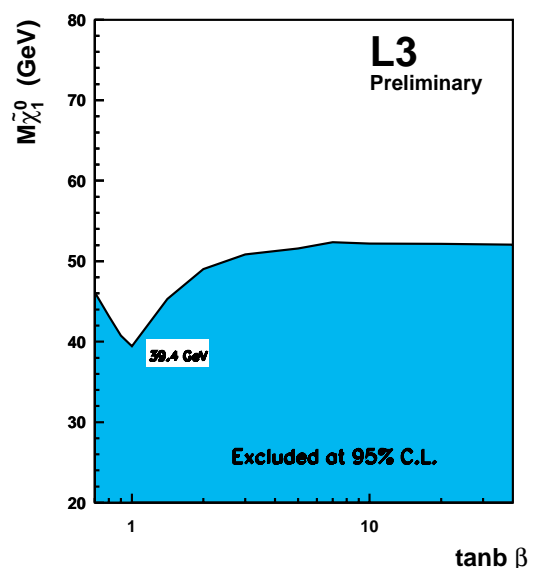


Figure 4: Limite sur la masse du neutralino le plus léger,  $m_{\chi_1^0}$ , obtenue dans le cadre du modèle standard supersymétrique minimal