



# La recherche du boson de Higgs a LEP2 dans l'expérience L3

D. Teyssier

► **To cite this version:**

D. Teyssier. La recherche du boson de Higgs a LEP2 dans l'expérience L3. Journées Jeunes Chercheurs 2000, Dec 2000, Saumur, France. pp.4. in2p3-00008024

**HAL Id: in2p3-00008024**

**<http://hal.in2p3.fr/in2p3-00008024>**

Submitted on 16 Jan 2001

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# La recherche du boson de Higgs à LEP2 dans l'expérience L3 .

Daniel TEYSSIER  
Institut de Physique Nucléaire, Lyon

11 Décembre 2000

## Résumé

Le boson de Higgs , permettant de donner une masse à toutes les particules , reste la seule pièce manquante du Modèle Standard. Les recherches directes ont pour but de déterminer la masse de ce boson , non prédite par la théorie .

## 1 Introduction

Le Modèle Standard permet aux fermions et aux bosons de jauge d'acquérir une masse , via le mécanisme de brisure de la symétrie électrofaible , appelé mécanisme de Higgs [1][2]. Par introduction d'un doublet de champs scalaires complexes , on permet notamment aux trois bosons de jauge  $W^\pm$  et  $Z^0$  d'acquérir leur polarisation longitudinale , et donc de devenir massifs . Il reste alors un degré de liberté, correspondant à une particule fondamentale scalaire , appelée boson de Higgs.

Les recherches directes donnent une limite inférieure sur la masse du boson de Higgs :  $M_H > 113.5$  GeV (résultat obtenu avec un degré de confiance (CL) de 95%, auprès du collisionneur LEP et daté du 3 Novembre 2000 [3]).

Les recherches indirectes , basées sur des mesures de précision des observables électrofaibles , impliquant des échanges de boson de Higgs virtuels , donnent une limite supérieure :  $M_H < 210$  GeV (95% CL).

## 2 Le détecteur L3

Le LEP, Large Electron Positron collider, est l'un des plus puissants collisionneurs au monde. Il est constitué d'un anneau de 27 km de circonférence, dans lequel les particules se rencontrent par paquets en certains points précis autour desquels sont installés les détecteurs de quatre expériences (L3, ALEPH, OPAL et DELPHI). Schématiquement, le détecteur L3 [4] est composé de cinq sous-détecteurs ( du centre vers l'extérieur ) : un détecteur de micro-vertex, une chambre à traces, un calorimètre électromagnétique, un calorimètre hadronique et des chambres à muons.

Le détecteur de micro-vertex a pour but de détecter la

position du vertex principal et d'éventuels vertex secondaires, tandis que la chambre à traces, appelée chambre à expansion temporelle reconstitue la trace des particules chargées et mesure leur impulsion grâce à leur courbure dans le champ magnétique de 0.51 Tesla.

Le calorimètre électromagnétique est constitué d'environ 11000 cristaux de germanate de bismuth , qui pointent vers le point d'interaction. Le germanate de bismuth est un matériau dense intrinsèquement scintillant, qui convertit l'énergie des particules incidentes en photons; ceux-ci sont alors mesurés par des photodiodes. Un électron est identifié comme un dépôt d'énergie dans le calorimètre électromagnétique (sans ou avec peu d'énergie dans le calorimètre hadronique) associé en angles, polaire et azimuthal, à une trace chargée. Un photon est également identifié comme un dépôt d'énergie dans le calorimètre électromagnétique, mais il n'est pas associé à une trace chargée. Les électrons pourront déjà être différenciées des particules hadroniques. En effet, les hadrons (pions chargés par exemple) produisent une gerbe plus large que les électrons.

Le calorimètre hadronique est constitué d'un empilement de plaques d'uranium 238 appauvri, milieu dense dans lequel se développent les gerbes hadroniques, et de chambres à fils proportionnelles, dans lesquelles l'énergie des hadrons est mesurée.

A ce stade, seuls les muons et les neutrinos n'ont pas encore été détectés. Les muons traversent tout le détecteur, du fait de leur grande inertie par rapport aux électrons (200 fois leur masse). Ils sont détectés dans les chambres à muons et la mesure de leur courbure due au champ magnétique permet la détermination de leur impulsion. Finalement, les neutrinos échappent à la détection et sont signés par de l'énergie et/ou de l'impulsion manquante.

## 3 Analyse

Le but de l'analyse consiste à différencier d'éventuels événements Higgs des différents bruits de fond connus. Pour cela, on éliminera progressivement ces fonds, connaissant la topologie et les caractéristiques spécifiques du signal Higgs que l'on attend. Le rapport signal sur bruit sera optimisé. On utilisera des variables discriminantes pour faire ces coupures. Les fonds et le signal Higgs

seront produits par les générateurs Monte-Carlo. Ensuite, on appliquera cette sélection aux données de l'expérience. S'il y a alors un excès significatif de données par rapport aux fonds simulés par Monte-Carlo, il conviendra de l'expliquer.

### 3.1 Généralités

#### 3.1.1 La production du boson de Higgs dans la phase LEP2

Le processus dominant de production du boson de Higgs pour une énergie dans le centre de masse de l'ordre de 200 GeV est le Higgs-Strahlung. Il s'agit tout d'abord de former un  $Z^0$  virtuel, qui donnera ensuite un boson de Higgs et un boson  $Z^0$  réel.

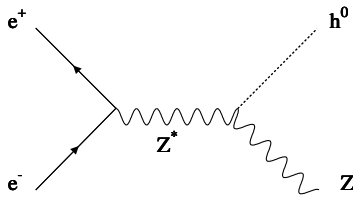


FIG. 1 – Processus de Higgs-Strahlung à LEP2.

Le Higgs peut également être produit, dans une moindre mesure, par la fusion de W ou de Z, suivant les diagrammes:

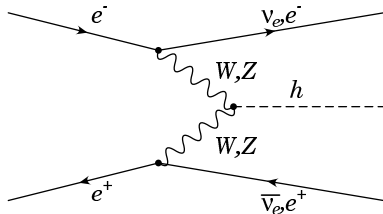


FIG. 2 – La production de Higgs par fusion de W ou de Z.

La section efficace de ces processus est cependant de l'ordre du pourcent par rapport au processus de Higgs-Strahlung.

#### 3.1.2 Les modes de désintégration du boson de Higgs

Le couplage du boson de Higgs aux fermions est proportionnel à leur masse. Donc tant que le Higgs est plus léger qu'une paire de bosons W ou Z, il se désintègre majoritairement en quarks b.

Les taux d'embranchement dominants d'un Higgs de

115 GeV sont:

$$\begin{cases} \text{BR}(H \rightarrow b\bar{b}) = 73.6\%, \\ \text{BR}(H \rightarrow W^+W^-) = 8.1\%, \\ \text{BR}(H \rightarrow \tau^+\tau^-) = 7.2\%, \\ \text{BR}(H \rightarrow gg) = 6.6\%, \\ \text{BR}(H \rightarrow c\bar{c}) = 3.3\%. \end{cases}$$

De ce fait, l'étiquetage des quarks b sera déterminant dans cette analyse.

#### 3.1.3 Différentes topologies

La désintégration du boson  $Z^0$  va alors déterminer les différentes topologies étudiées. Le  $Z^0$  peut décroître en une paire de quarks (topologie quatre jets, 65% des événements), une paire de neutrinos (topologie deux jets plus énergie manquante, 19% des événements), une paire d'électrons ou de muons (topologie deux jets plus deux leptons, 6% des événements). Une autre topologie peut apparaître avec une paire de taus et une paire de quarks, provenant chacune du Higgs ou du Z (dans ce cas, on a deux jets et deux mini-jets, 9% des événements).

#### 3.1.4 Les bruits de fonds du Modèle Standard

Il y a au total sept fonds dont nous aurons à tenir compte. Les processus  $\gamma\gamma \rightarrow e^+e^-q\bar{q}$ ,  $\gamma^*/Z \rightarrow q\bar{q}(\gamma)$ ,  $\gamma\gamma \rightarrow e^+e^-\tau^+\tau^-$ ,  $W^+W^-$ ,  $Ze^+e^-$ ,  $W^\pm e^\mp\nu_e$  et enfin  $(\gamma^*/Z, \gamma^*/Z)$ . Les sections efficaces de ces processus sont plusieurs ordres de grandeur au-dessus du signal attendu. Par exemple, alors que la section efficace du processus  $W^+W^-$  est de l'ordre de 80 picobarn (pb), celle d'un signal Higgs pour une hypothèse de masse de 115 GeV est d'environ 0.04 pb.

Au cours de l'année 2000, le détecteur L3 a enregistré une luminosité intégrée de  $217 \text{ pb}^{-1}$ , représentant environ 8 millions de données. Sur la même période, on attend moins d'une dizaine d'événements Higgs pour une hypothèse de masse de 115 GeV.

### 3.2 Description de l'analyse

Pour une description plus complète de toutes les analyses, notamment canaux par canaux, voir Ref. [5].

#### 3.2.1 Présélection: coupures séquentielles

Le but d'une analyse séquentielle est d'éliminer le maximum d'événements de fond, tout en coupant au minimum le signal. On utilisera donc les variables les plus discriminantes, choisies, dans un premier temps, sur des critères liés à la topologie recherchée. L'analyse consistera d'abord à effectuer une présélection, permettant ainsi de réduire la quantité de données à traiter en

ne retenant que celles qui sont compatibles avec la topologie étudiée , par exemple : 2 jets +  $\cancel{E}$ . A ce niveau de présélection, les fonds résiduels sont les suivants :  $W^+W^-$  ,  $\gamma^*/Z \rightarrow q\bar{q}(\gamma)$  et  $(\gamma^*/Z, \gamma^*/Z)$  .

La sélection devra alors atteindre un rapport signal sur bruit le plus élevé possible , en utilisant des caractéristiques plus spécifiques du signal, tel que ses jets de b par exemple , et également des méthodes d'analyse plus performantes .

### 3.2.2 Sélection : analyse avec réseau de neurones

Le but du réseau de neurones est d'utiliser les corrélations entre les variables, ce que ne permettent pas des coupures séquentielles. Considérons par exemple le graphe  $E_{VIS}$  versus  $M_{MIS}$ , avec le fond  $q\bar{q}$  en rouge et le signal Higgs en noir ( cf figure 3 ) .

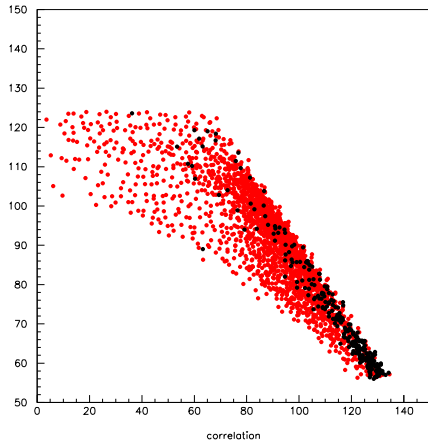


FIG. 3 – Corrélation entre l'énergie visible et la masse manquante.

On distingue deux ensembles de points. L'objectif de l'analyse est d'isoler l'ensemble noir (le signal), ce qui est difficile en coupant horizontalement puis verticalement, c'est-à-dire séquentiellement. Plus généralement, le réseau de neurones isolera dans un espace à n variables choisies judicieusement, l'hypervolume optimisant le rapport signal sur bruit.

On utilisera ainsi les corrélations entre les variables cinématiques , angulaires et l'étiquetage des quarks b .

## 3.3 Résultats

### 3.3.1 Présélection

On obtient à la présélection 26 événements observés , pour 24.71 événements attendus pour les différents fonds du Modèle Standard et 3.68 événements Higgs attendus pour une hypothèse de masse de 114.5 GeV ( tous canaux combinés , pour une luminosité intégrée de

217 pb<sup>-1</sup> ) .

### 3.3.2 Variable finale

L'information obtenue à la sortie du réseau de neurones , combinée avec l'information sur la masse reconstruite des événements ( c'est-à-dire en imposant par exemple que la masse manquante corresponde avec celle du boson Z<sup>0</sup> dans le cas du canal "2 jets +  $\cancel{E}$ " ) , permet d'obtenir la variable finale (cf figure 4).

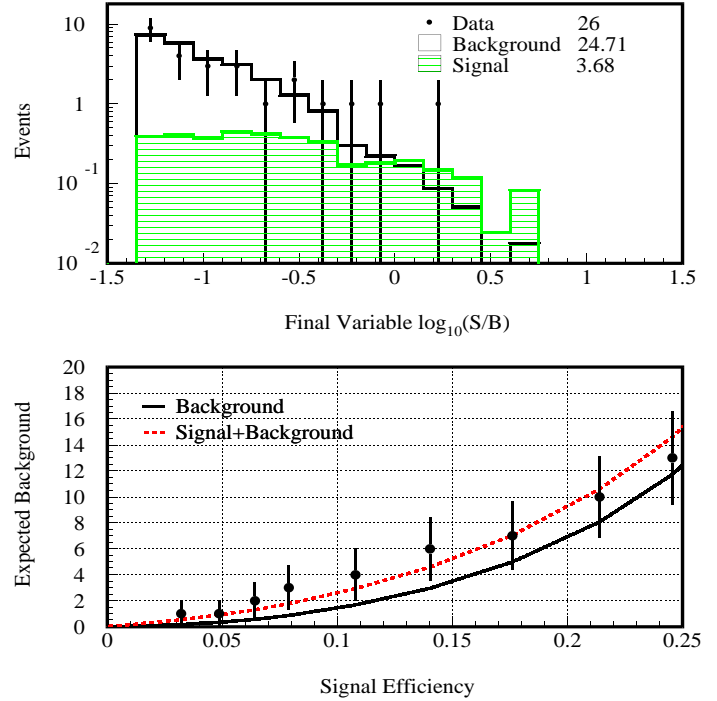


FIG. 4 – Variable finale et courbe de performance

La courbe de performance est obtenue en intégrant la variable finale par la droite . On peut ainsi mesurer le désaccord entre les données et le fond total attendu. On constate ici pour cette hypothèse de masse , ( $M_H = 114.5$  GeV) un excès dans la région haute pureté. La courbe en pointillés rouges suppose l'existence d'un signal.

### 3.3.3 Résultats par canaux

Dans la région haute pureté ( ou le rapport signal sur bruit est important ) , on obtient les nombres d'événements suivants pour les quatre topologies :

	Données	Fonds	Signal
4 jets	1	0.43	0.44
qq $\nu\nu$	1	0.22	0.23
qqll	0	0.11	0.12
qq $\tau\tau$	0	0.08	0.10

On a donc deux candidats significatifs (voir Ref. [6])

dans la région haute pureté , en excès par rapport aux prédictions du fond du Modèle Standard .

### 3.3.4 Interprétation

On a alors besoin d'un estimateur statistique ( désigné ici par  $-2\ln(Q)$  ), dépendant de l'hypothèse de masse, afin de déterminer si les données sont compatibles avec une hypothèse fond ( Modèle Standard ) uniquement , ou alors une hypothèse fond augmenté du signal .

La formule utilisée est la suivante :

$$-2\ln Q(m_H) = 2s_{tot} - 2 \sum N_i \ln[1 + s_i(m_H)/b_i]$$

où  $s_i(m_H)$  désigne le nombre d'événements de signal Higgs attendus pour l'hypothèse de masse  $m_H$  .

La courbe verte ( cf figure 5 ) représente l'hypothèse fond uniquement , la courbe rouge l'hypothèse fond plus signal . Quant aux données , elles sont représentées par une ligne verticale noire , située à  $-1.5$  en abscisse .

niveau de confiance pour une hypothèse fond , la valeur attendue étant de 50% lorsqu'il y a bon accord ( en cas d'excès , on a alors une valeur supérieure à 50% ) .

## 4 Conclusion

L'excès caractérisé pour L3 est de  $1.7 \sigma$  pour une hypothèse de masse  $M_H = 114.5 \text{ GeV}$  . En ce qui concerne les résultats combinés du LEP [7] (à savoir les quatre expériences ALEPH , OPAL , DELPHI et L3) , on observe quatre candidats pour 1.72 événements de fond attendus et 3.03 de signal attendus pour  $M_H = 115 \text{ GeV}$  . On a alors un excès de  $(2.9 \pm 0.2)\sigma$  . Ceci correspond en outre à une probabilité de fluctuation du fond inférieure à 0.4% .

## Références

- [1] J. Gunion, H. Haber, G. Kane et S. Dawson, "The Higgs Hunter's Guide", Frontiers in Physics Series (vol. 80), éd. Addison-Wesley (1990).
- [2] S. Dawson, "Introduction to Electroweak Symmetry Breaking", HEP-PH/9901280 (1999).
- [3] P.Igo-Kemenes , LEP Seminar - Nov. 3,2000
- [4] L3 Collaboration, "The Construction of the L3 Experiment", L3 Preprint #000 (1989).
- [5] L3 Collaboration, M.Acciarri *et al.*, Phys. Lett. B 461 (1999) 376.
- [6] L3 Collaboration, M.Acciarri *et al.*, Phys. Lett. B 495 (2000) "Higgs Candidates in  $e^+e^-$  Interactions at  $\sqrt{s} = 206.6 \text{ GeV}$ ."
- [7] LEP Higgs Working Group, "Standard Model Higgs Boson at LEP: Results with the 2000 Data , Request for running in 2001" LEP Seminar - Nov. 3,2000

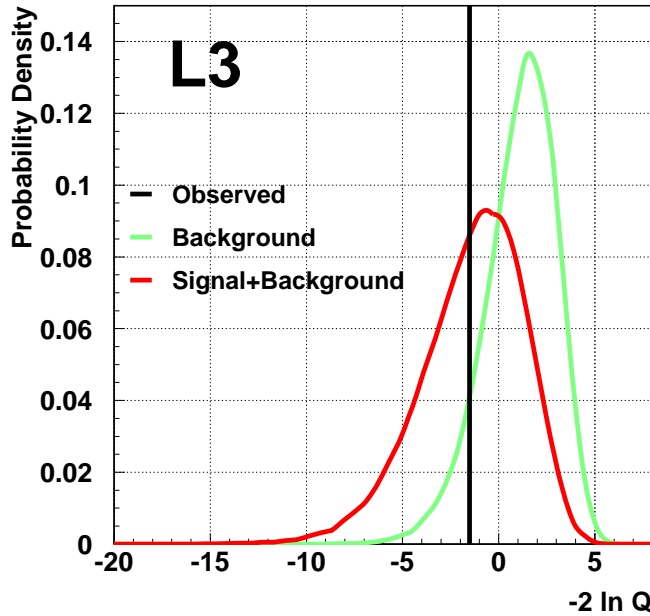


FIG. 5 – Densité de probabilité de l'estimateur statistique, pour  $m_H = 114.5 \text{ GeV}$  .

Si les données étaient en bon accord avec les prédictions du Modèle Standard , la ligne verticale noire se situerait au milieu de la courbe verte . On voit ici que ce n'est pas le cas , la ligne noire étant au contraire au milieu de la courbe rouge .

A partir de cette courbe , on peut en déduire les différents niveaux de confiance . En intégrant par la droite la courbe rouge jusqu'à la ligne noire , on obtient :  $CL_{s+b} = 62\%$  . En intégrant par la gauche la courbe verte jusqu'à la ligne noire , on obtient :  $1 - CL_b = 0.09$  soit  $CL_b = 91\%$  . Le  $CL_b$  représente le