

Un peu de physique avec le détecteur ALEPH au LEP

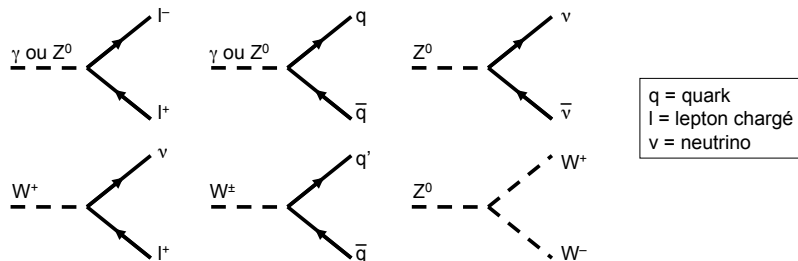
Olivier Schneider



Olivier.Schneider@epfl.ch

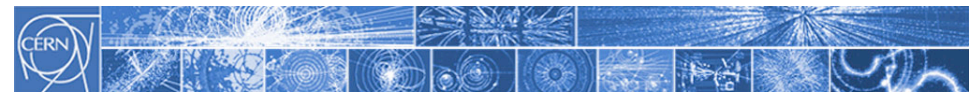
Théorie électro-faible

- **Maxwell (~1864):**
 - électromagnétisme: unification des forces électriques et magnétiques
- **Glashow, Weinberg et Salam (1961–1968):**
 - théorie électro-faible: unification des forces électromagnétique et faible
 - 4 bosons d'échange: γ , Z^0 , W^+ , W^-
 - couplages possibles (diagrammes de Feynman):

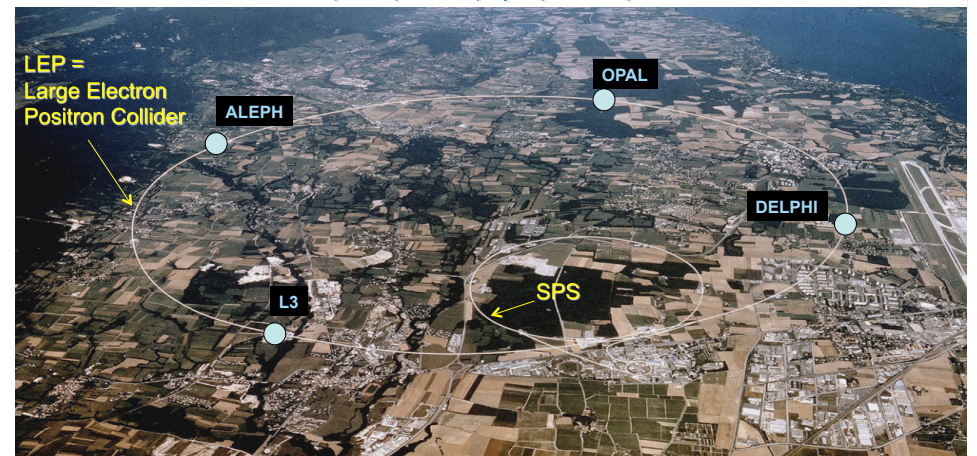


Le LEP

- **LEP = « Large Electron-Positron collider »**
- **Grand collisionneur électron-positon du CERN (synchrotron):**
 - 27 km de circonférence
 - tunnel et accélérateur construits à partir de 1983
 - entré en fonction en 1989, arrêté en 2000
- **4 grands détecteurs similaires construits et utilisés au LEP:**
 - **ALEPH, DELPHI, L3 et OPAL**
 - but principaux:
 - étudier en détail les **bosons Z^0 et W^\pm** (particules d'échange de la force nucléaire faible) découverts en 1983 au collisionneur proton-antiproton (SPS = super synchrotron à protons) du CERN
 - recherche du **boson de Higgs**, particule responsable de la masse des Z^0 et W^\pm (et également de toutes les autres particules)
 - recherche de nouvelle physique (par ex. particules supersymétriques)



CERN – Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire
Laboratoire européen pour la physique des particules



Le LEP en deux phases

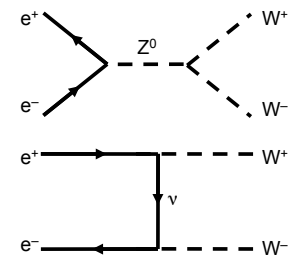
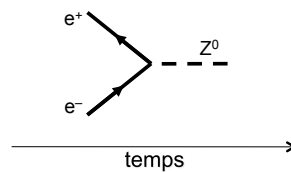
LEP1 (1989–1995):

- collisions e^+e^- à $\sqrt{s} \sim m(Z^0) \sim 91.2$ GeV
- au total, plusieurs millions de Z réels produits dans chaque détecteur !

LEP2 (1996–2000)

- collisions e^+e^- à plus haute énergie
 - jusqu'à $\sqrt{s} \sim 209$ GeV (record)
- production de paires W^+W^- et Z^0Z^0 , ...
 - $m(W) \sim 80.4$ GeV
 - seuil de production W^+W^- : $\sqrt{s} \sim 160.8$ GeV
- recherche du Higgs et autres nouvelles particules ...

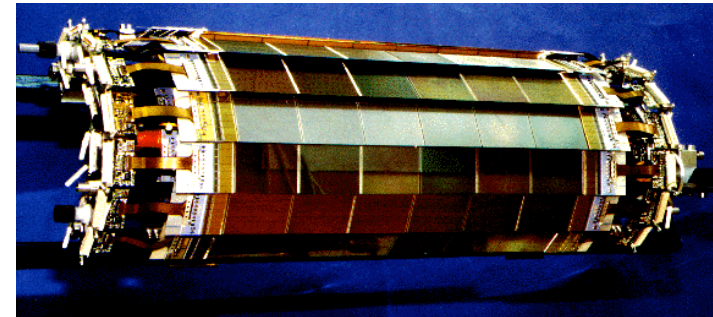
Diagrammes de Feynman



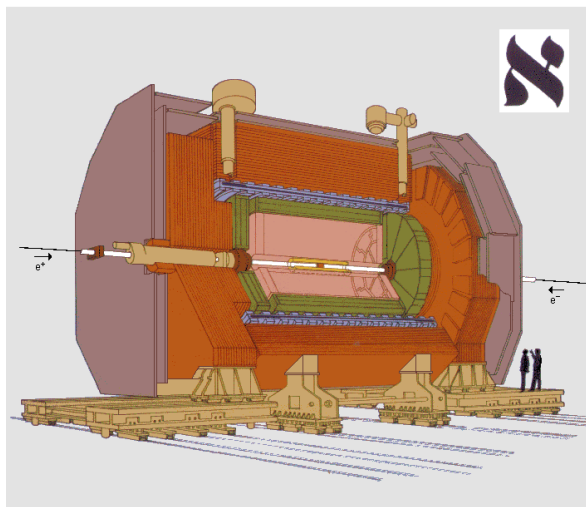
Le détecteur de vertex (VDET)

Nouvelle version de 1995 (pour la phase 2):

- longueur 40 cm (version 1 avait seulement 20 cm)
- 2 couches concentriques de détecteurs au silicium entourant le point de collision e^+e^-
 - rayon = 6.3 cm (couche interne) et 11.0 cm (couche externe)



Le détecteur ALEPH

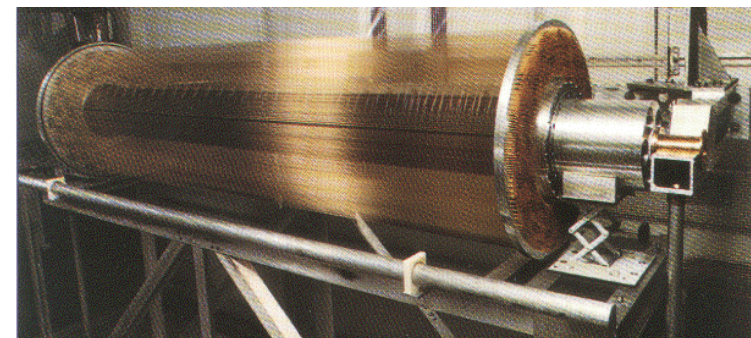


- Vertex Detector
- Inner Tracking Chamber
- Time Projection Chamber
- Electromagnetic Calorimeter
- Superconducting Magnet Coil
- Hadron Calorimeter
- Muon Chambers
- Luminosity Monitors

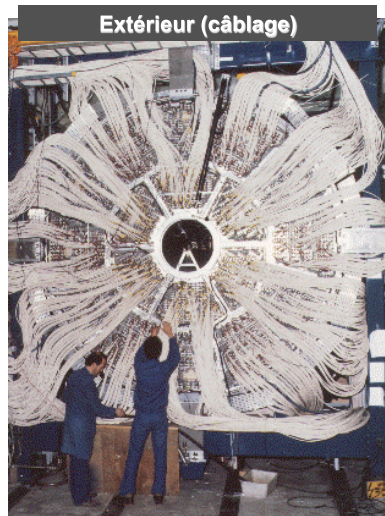
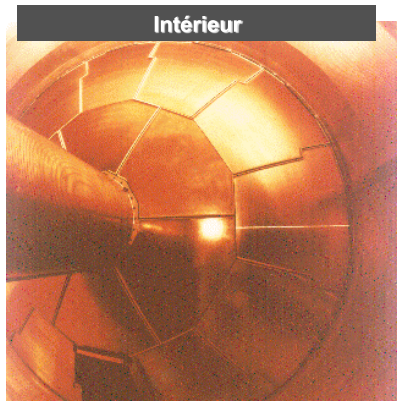
Inner tracking chamber

Chambre à dérive conventionnelle, entourant le détecteur de vertex

- longueur ~ 2 m
- rayon de 12.8 à 28.8 cm



Chambre à projection temporelle (TPC)



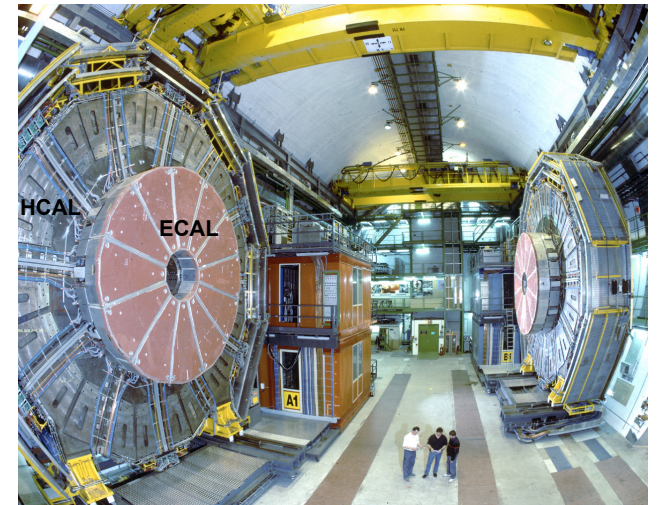
Physique avec le détecteur ALEPH

O. Schneider, 12 novembre 08

9

Les deux « bouchons »

- Calorimètres placés de part et d'autre de la partie centrale du détecteur



Physique avec le détecteur ALEPH

O. Schneider, 12 novembre 08

11

Aimant et calorimètres

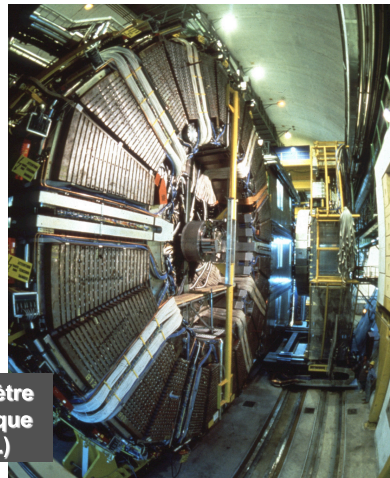
Module du calorimètre électromagnétique (ECAL)



Aimant (bobine supraconductrice)



Calorimètre hadronique (HCAL)



Physique avec le détecteur ALEPH

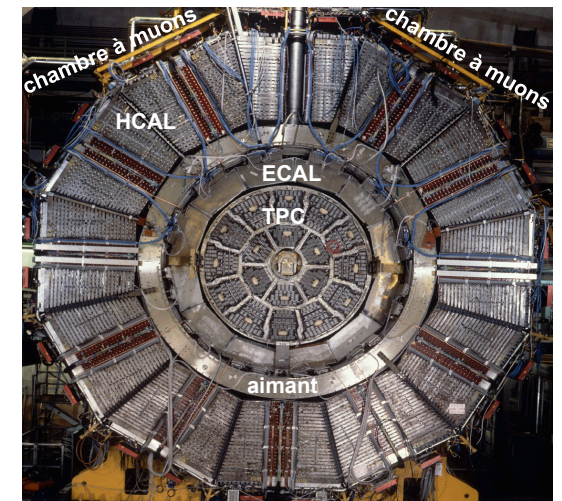
O. Schneider, 12 novembre 08

10

Détecteur ALEPH

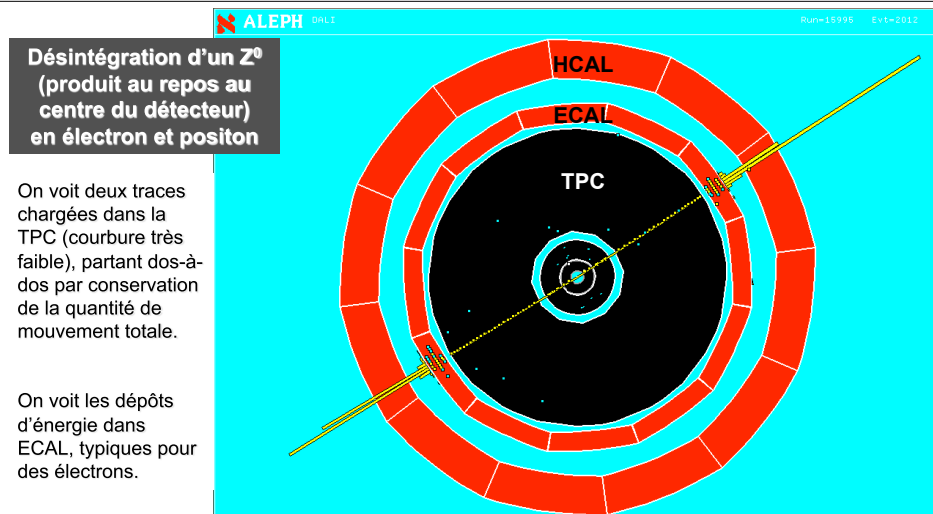
- Partie centrale du détecteur, vue dans le plan transverse (perpendiculaire aux faisceaux)

— les images qui suivent sont des vues similaires, reconstruites par ordinateur à partir d'événements réels enregistrés dans le détecteur

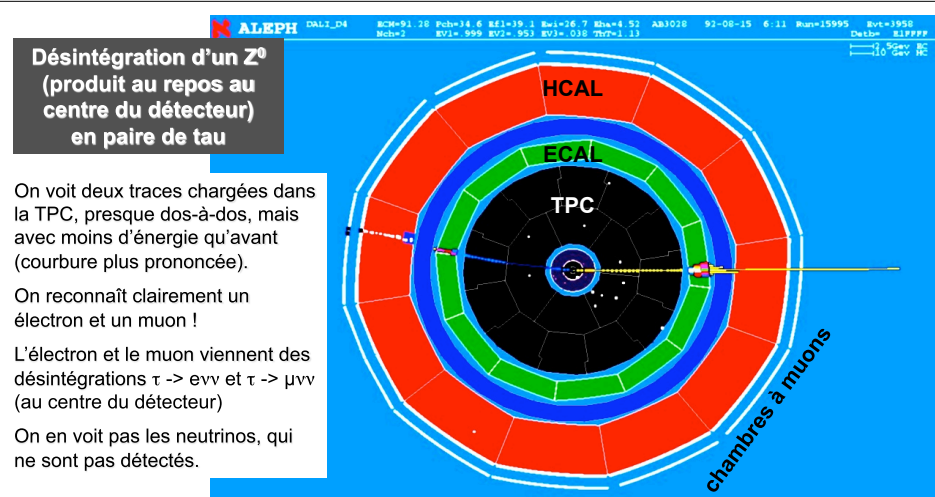


12

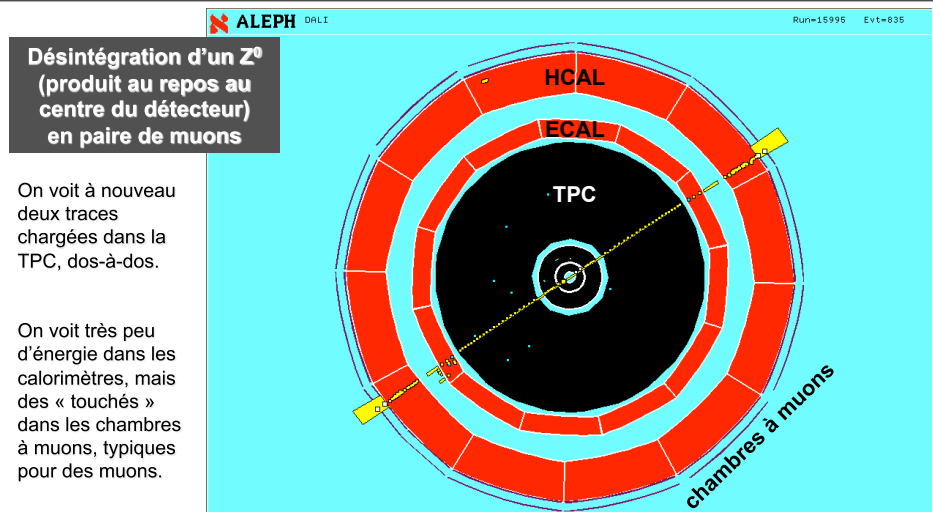
$$Z^0 \rightarrow e^+e^-$$



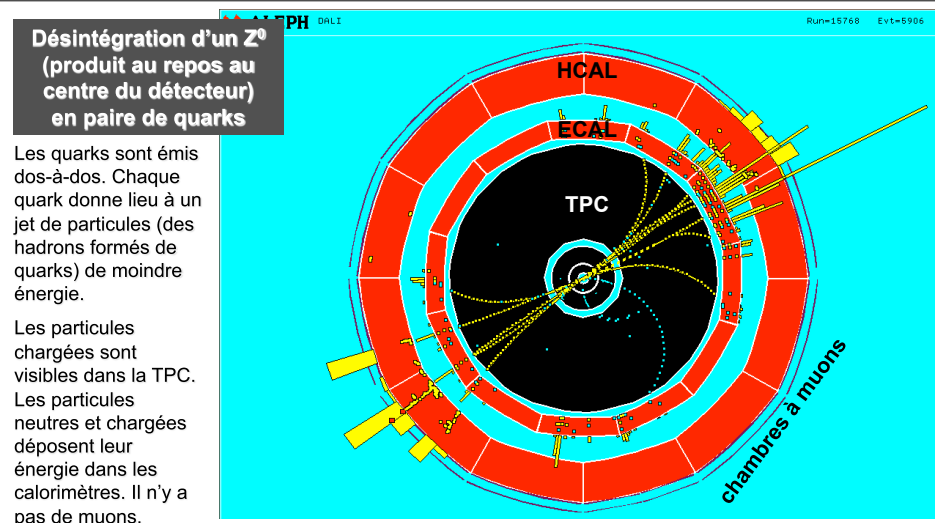
$$Z^0 \rightarrow \tau^+\tau^-$$



$$Z^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$$



$$Z^0 \rightarrow q\bar{q} \text{ (2 jets)}$$



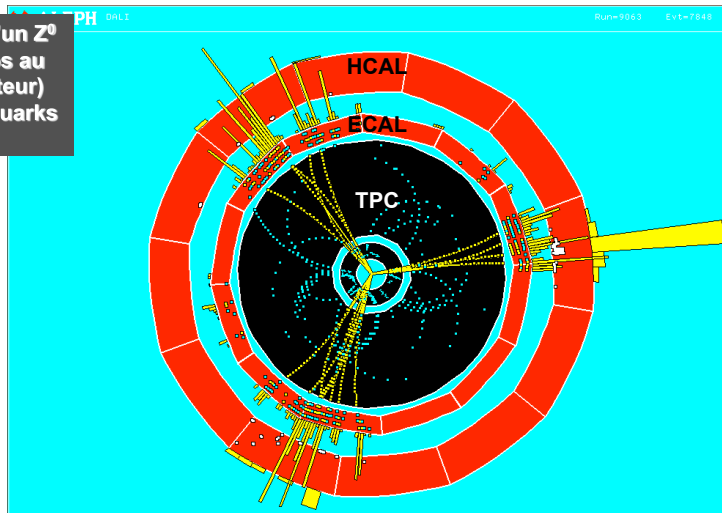
$$Z^0 \rightarrow q\bar{q}g \text{ (3 jets)}$$

**Désintégration d'un Z^0
(produit au repos au
centre du détecteur)
en une paire de quarks
et un gluon**

Le gluon « dur » est
irradié par l'un des
quarks.

Chaque quark ou
gluon donne lieu à un
jet de hadrons.

Par conservation, la
quantité de
mouvement
vectorielle totale des
deux quarks et du
gluon (donc des trois
jets) est nulle.



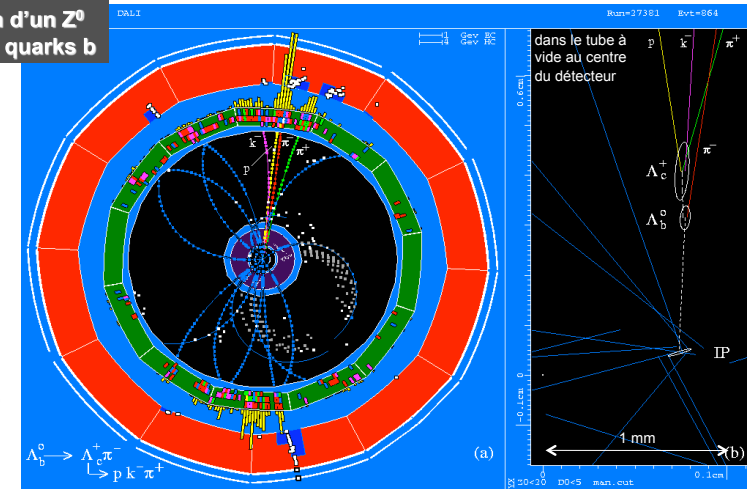
$$Z^0 \rightarrow b\bar{b}$$

**Désintégration d'un Z^0
en une paire de quarks b**

Chaque quark b
donne lieu à un jet
de hadrons.

Les particules
dessinées en
couleurs autres que
bleu sont utilisées
pour reconstruire la
désintégration d'un
baryon Λ_b , qui
contient un quark b
et deux quarks d.

Le Λ_b se désintègre
en $\Lambda_c \pi$, où le Λ_c
contient les quarks
c, u et d.

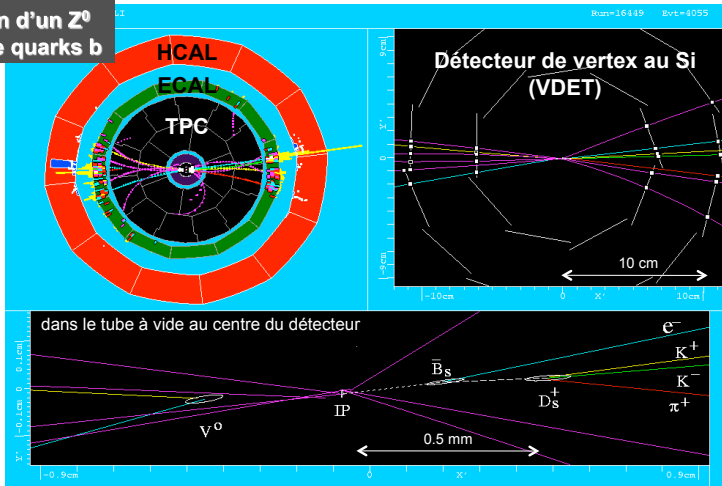


$$Z^0 \rightarrow b\bar{b}$$

**Désintégration d'un Z^0
en une paire de quarks b**

Chaque quark b
donne lieu à un jet
de hadrons.

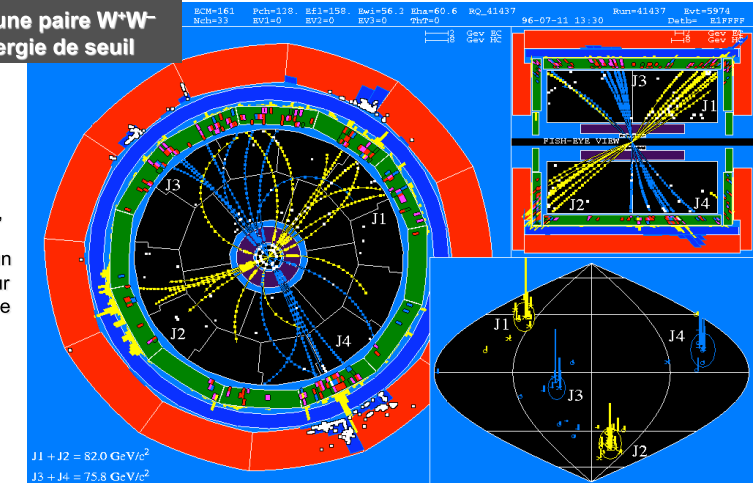
Un de ces hadrons
(ici un \bar{B}_s dans le
jet de droite)
contient le quark b;
il se désintègre
avec un temps de
vie moyen de 1 ps,
après avoir volé
sur une distance de
l'ordre du mm,
visible sur les
agrandissements
autour du point
d'interaction (IP).



$$e^+e^- \rightarrow W^+W^-$$

**Production d'une paire W^+W^-
près de l'énergie de seuil**

Les deux W sont
produits presque au
repos. Ici chaque W
se désintègre
immédiatement en
une paire de quarks,
c'est-à-dire en deux
jets (en bleu pour l'un
des W, en jaune pour
l'autre). Dans chaque
désintégration les
jets sont dos-à-dos.



$$e^+e^- \rightarrow W^+W^-$$

Production d'une paire W^+W^- près de l'énergie de seuil

Ici le W^- se désintègre en une paire de quarks, donnant les deux jets dont les traces chargées sont dessinées en rouge et en bleu, et le W^+ se désintègre en un positon e^+ et un neutrino ν .

Le positon (trace dessinée en jaune) est identifié par son grand dépôt d'énergie dans ECAL.

Le neutrino n'est pas détecté. Cependant, comme c'est le seul neutrino de l'événement, son quadrivecteur énergie-impulsion peut être calculé sur la base des mesures de toutes les autres particules détectées, en sachant, par conservation, que le quadrivecteur total de l'événement vaut $(E_{e^+}+E_{e^-}, 0,0,0) = (\sqrt{s}, 0,0,0)$.

