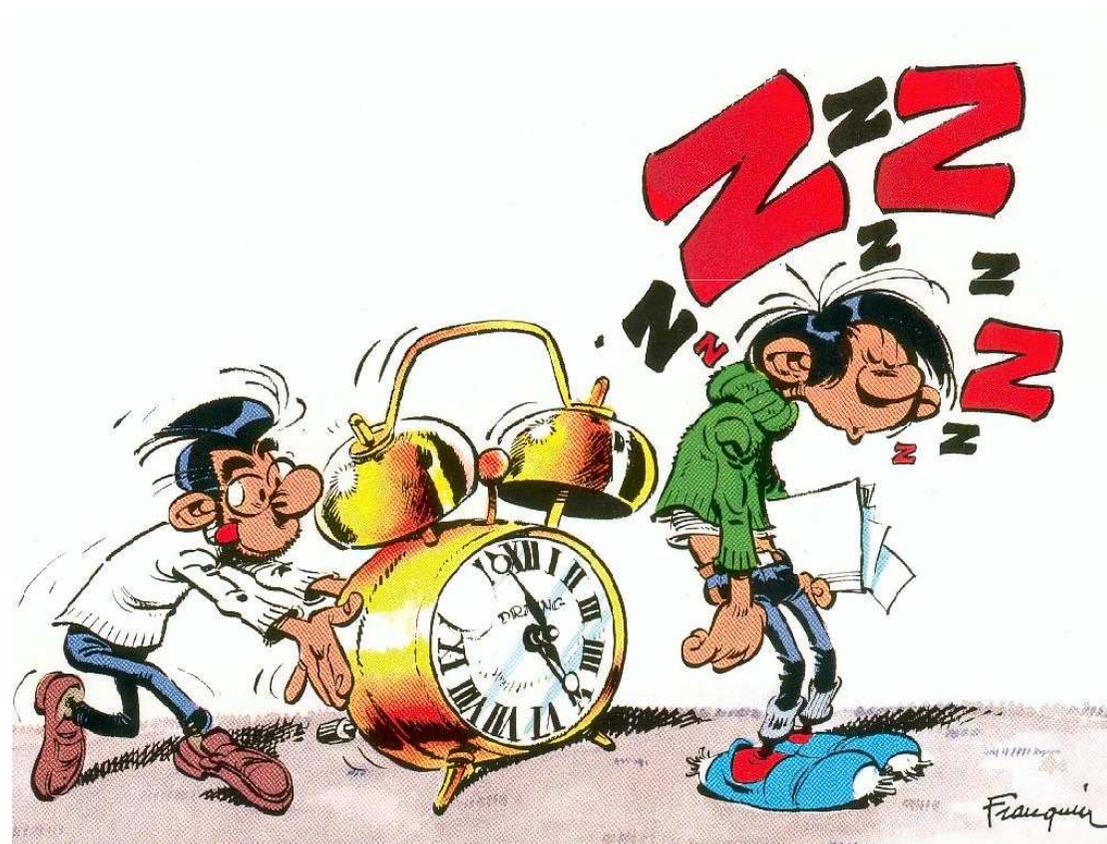


Masterclasses

Il était une fois le Z ...



La place du Z dans le Modèle Standard

Les particules élémentaires du modèle standard

les particules de matière

quarks

+2/3

u up (1968)

c charm (1974)

t top (1995)

-1/3

d down (1968)

s strange (1968)

b beauty (1977)

leptons

0

ν_e neutrino "e"
(1956)

ν_μ neutrino "μ"
(1962)

ν_τ neutrino "τ"
(2000)

-1

e^- électron (1897)

μ^- muon (1936)

τ^- tau (1974)

charge
électrique

les particules d'interaction

γ photon (1905)

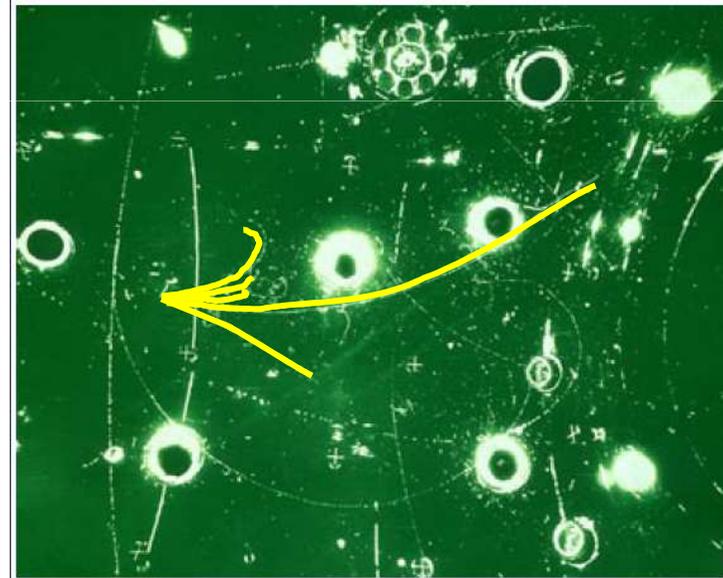
g gluon (1979)

$W^+ W^- Z$ bosons W et Z
(1983)

1973 : Première idée du Z (au CERN)

- L'accélérateur PS et la chambre à bulles Gargamelle

Les particules neutres (ici les neutrinos muoniques) peuvent interagir avec la matière en échangeant un Z.

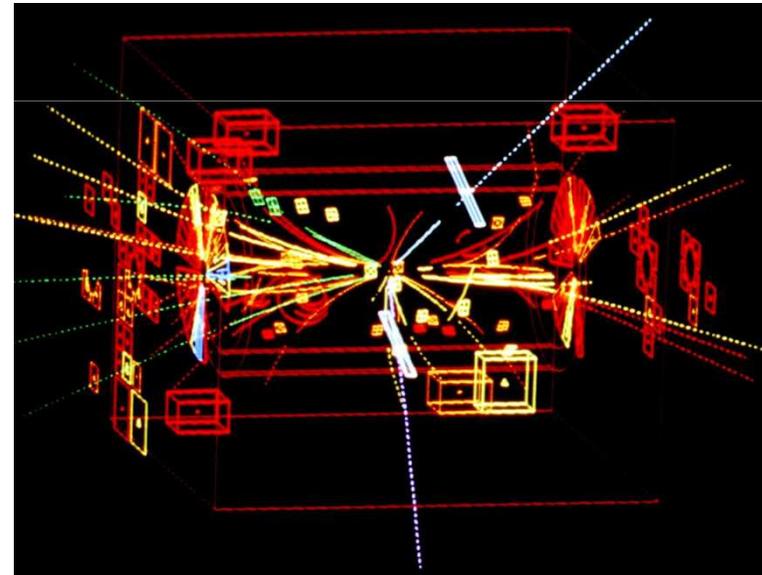
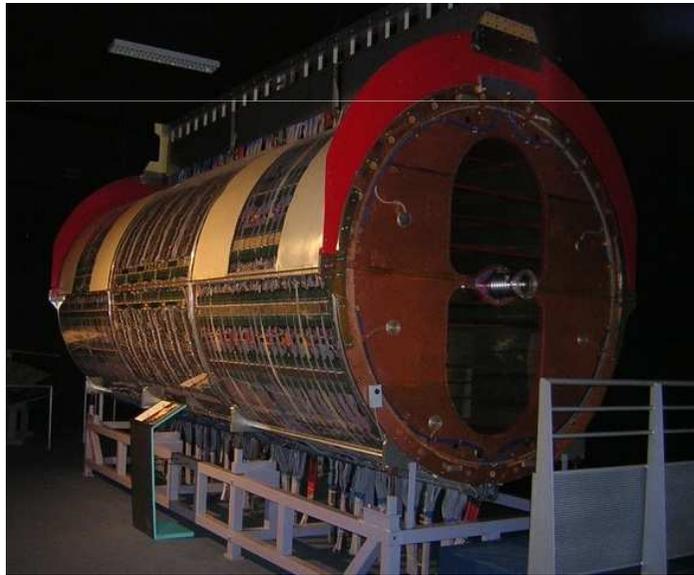


Confirmation de l'une des prédictions du Modèle Standard

1983 : Découverte du Z (au CERN)

- L'accélérateur SPS et les détecteurs UA1 & UA2

Le Z est produit au cours d'une collision proton – antiproton.
Entre 1981 et 1988, 200 collisions où intervient une particule Z seront observées.



Découverte récompensée par le Prix Nobel de 1984

1989 – 2000 : Mesure des propriétés du Z

- Le LEP et les 4 grands détecteurs associés

Le grand collisionneur électron – positron, LEP, est une véritable « usine à Z » : 16 millions de Z ont été observés

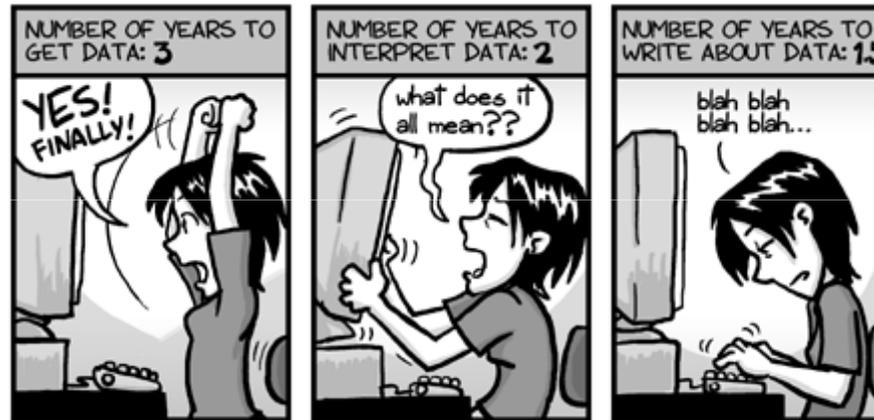


Réalisation de mesures de précision, en particulier les propriétés du Z

Présentation de l'exercice

- Reproduire une mesure historique

Estimer les rapports d'embranchement du Z à partir de vraies données prises par le détecteur DELPHI au LEP



- Simplifications liées à l'exercice

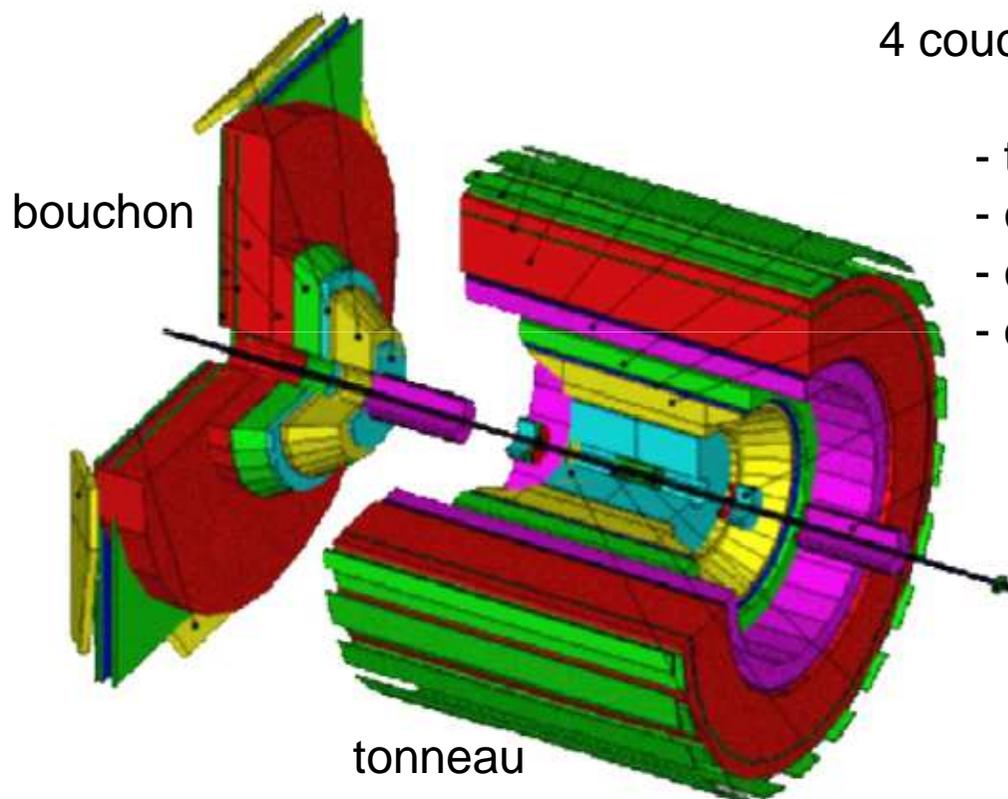
- Nombre limité d'événements
- Uniquement des événements comportant un Z
- Désintégration du Z observable dans le détecteur
- Calcul incomplet des incertitudes

Le détecteur DELPHI

Structure classique d'un détecteur cylindrique

4 couches spécialisées :

- trajectographe (+aimant)
- calorimètre électromagnétique
- calorimètre hadronique
- détecteur de muons

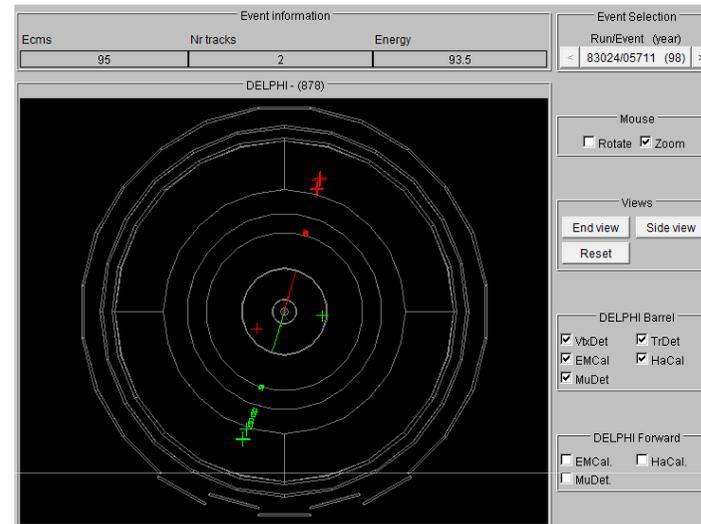
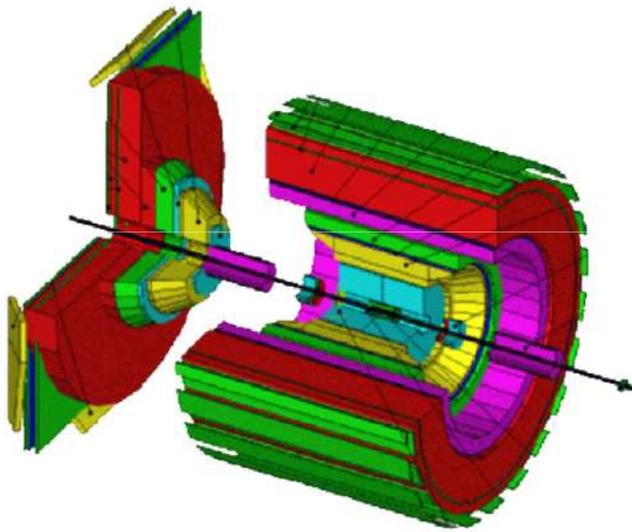


10m de long & de diamètre
3500 tonnes

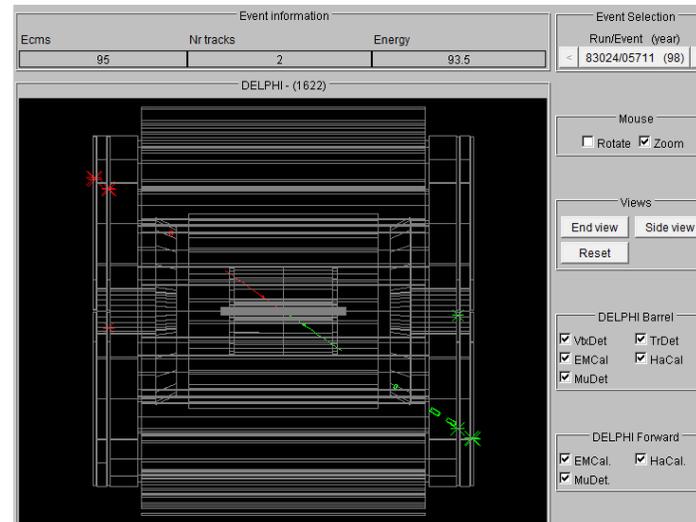


DELPHI vu par le programme WIRED

Vue transversale

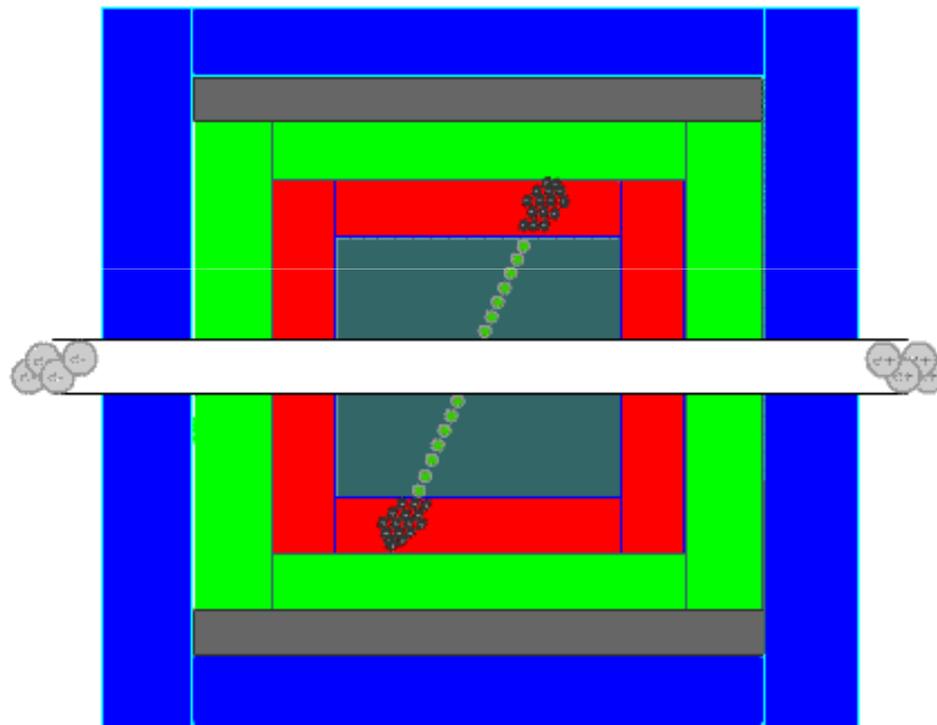


Vue longitudinale



Identification de la désintégration du Z

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



Décteur de muons

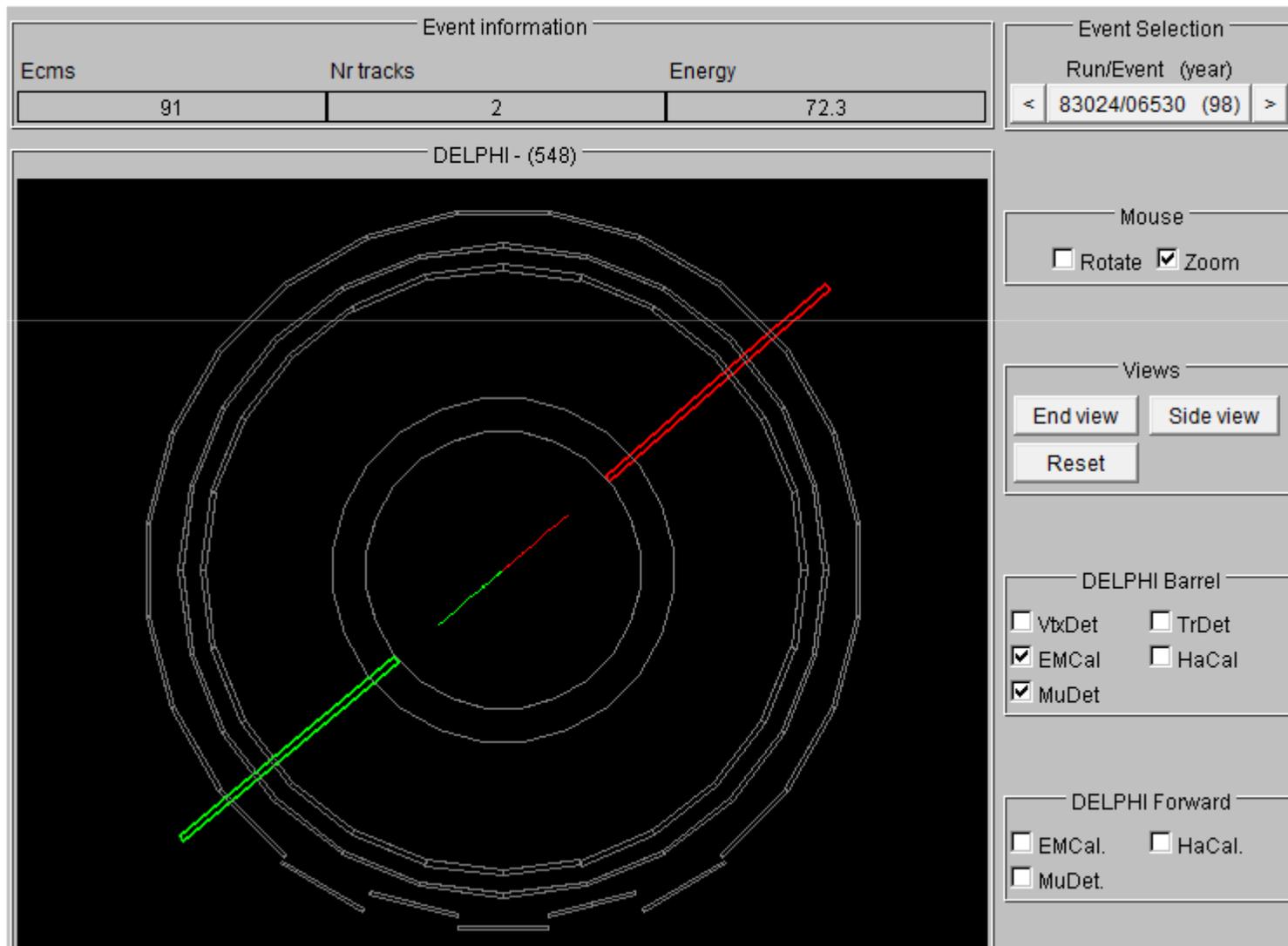
Calorimètre hadronique

Calorimètre électromagnétique

Trajectographe

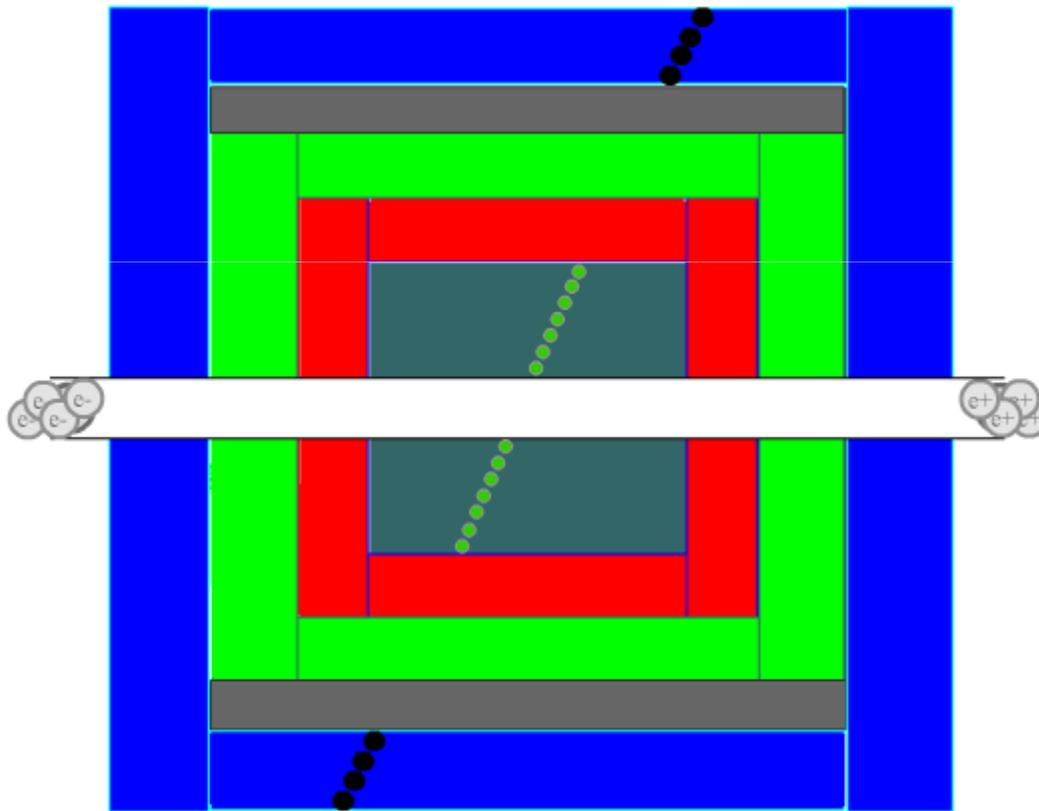
Identification de la désintégration du Z

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



Identification de la désintégration du Z

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



Détecteur de muons

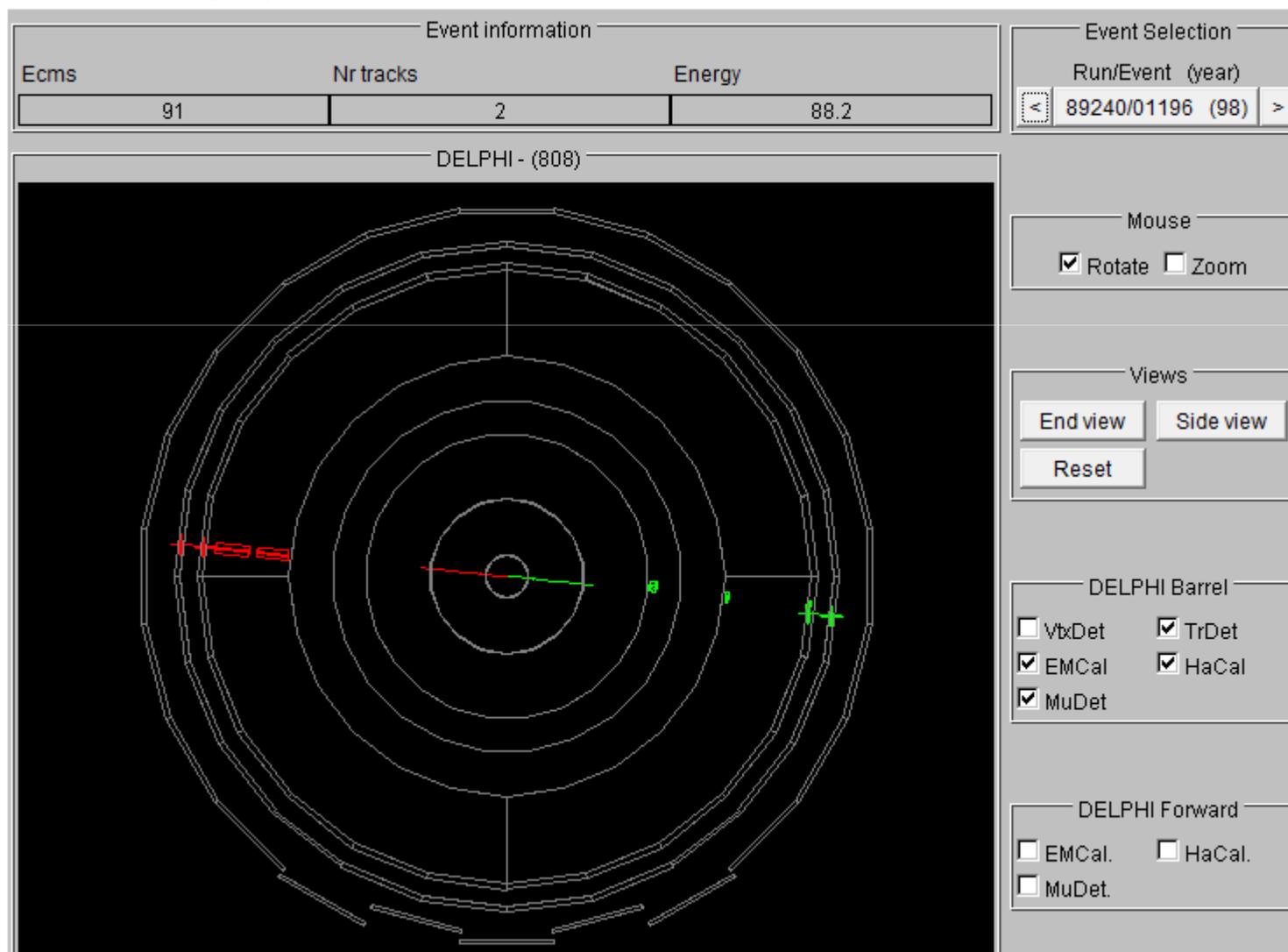
Calorimètre hadronique

Calorimètre électromagnétique

Trajectographe

Identification de la désintégration du Z

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

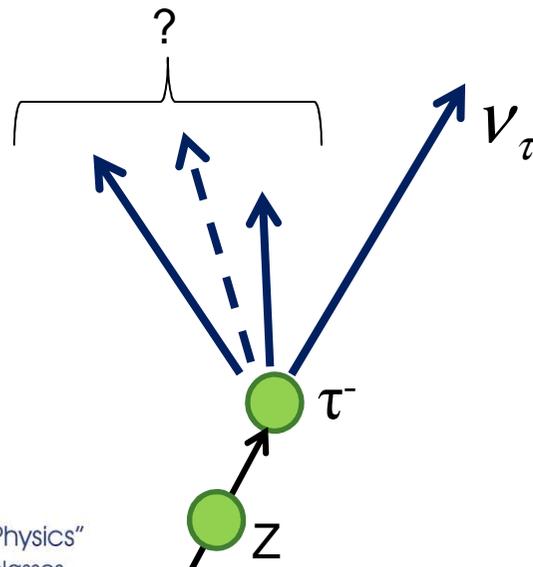


Identification de la désintégration du Z

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

Contrairement à l'électron et au muon, le tau a un temps de vie très court : 10^{-15}s . Il se désintègre alors avant de pénétrer la première couche de détecteurs.

Pour identifier un tau, il faut regarder les particules issues de sa désintégration :



$$\tau^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\tau \quad \mathbf{18\%}$$

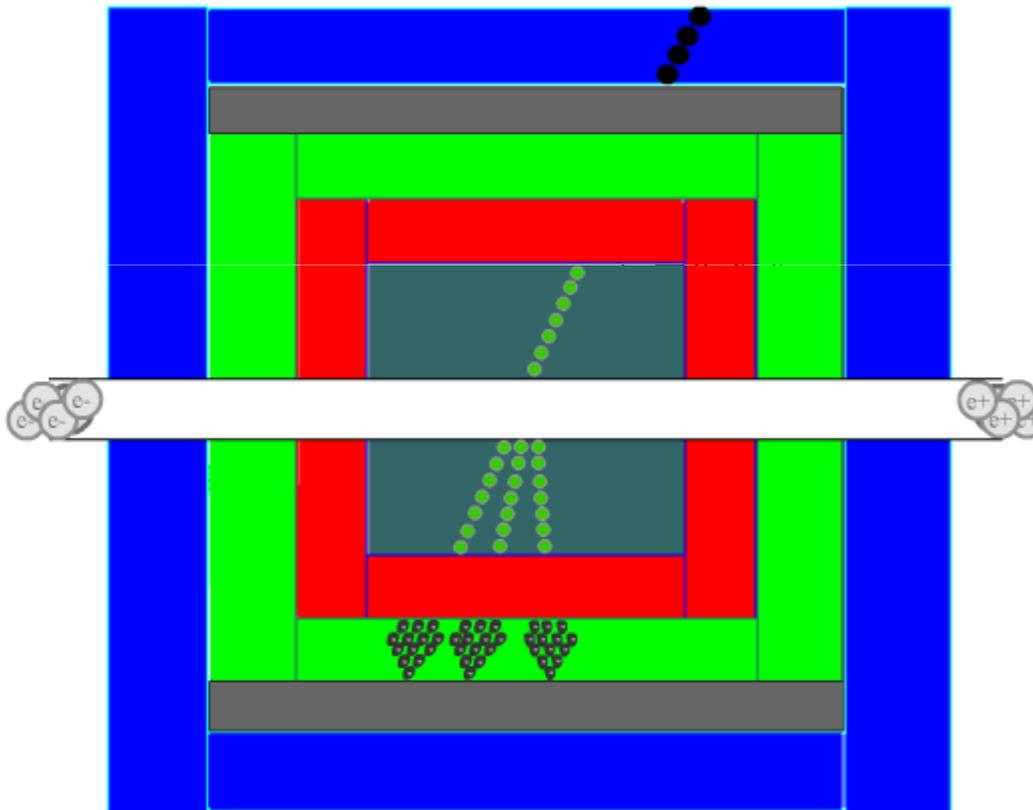
$$\tau^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu \nu_\tau \quad \mathbf{18\%}$$

$$\tau^- \rightarrow \text{jet } \nu_\tau \quad \mathbf{64\%}$$

$$\mathbf{100\%}$$

Identification de la désintégration du Z

- $Z \rightarrow \tau^+ \tau^-$ (un exemple)

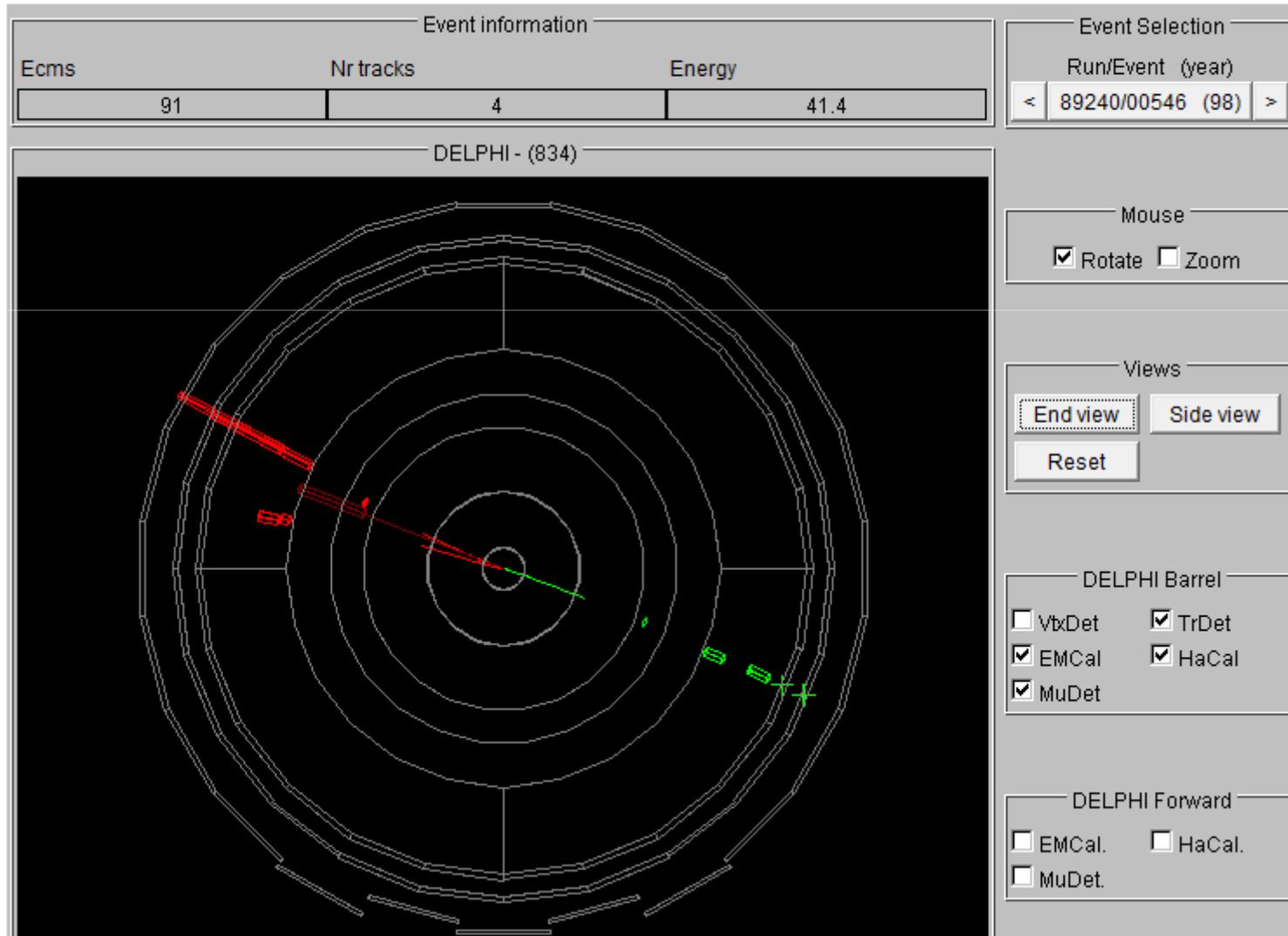


$$\tau^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu \nu_\tau$$

$$\tau^+ \rightarrow \text{jet } \bar{\nu}_\tau$$

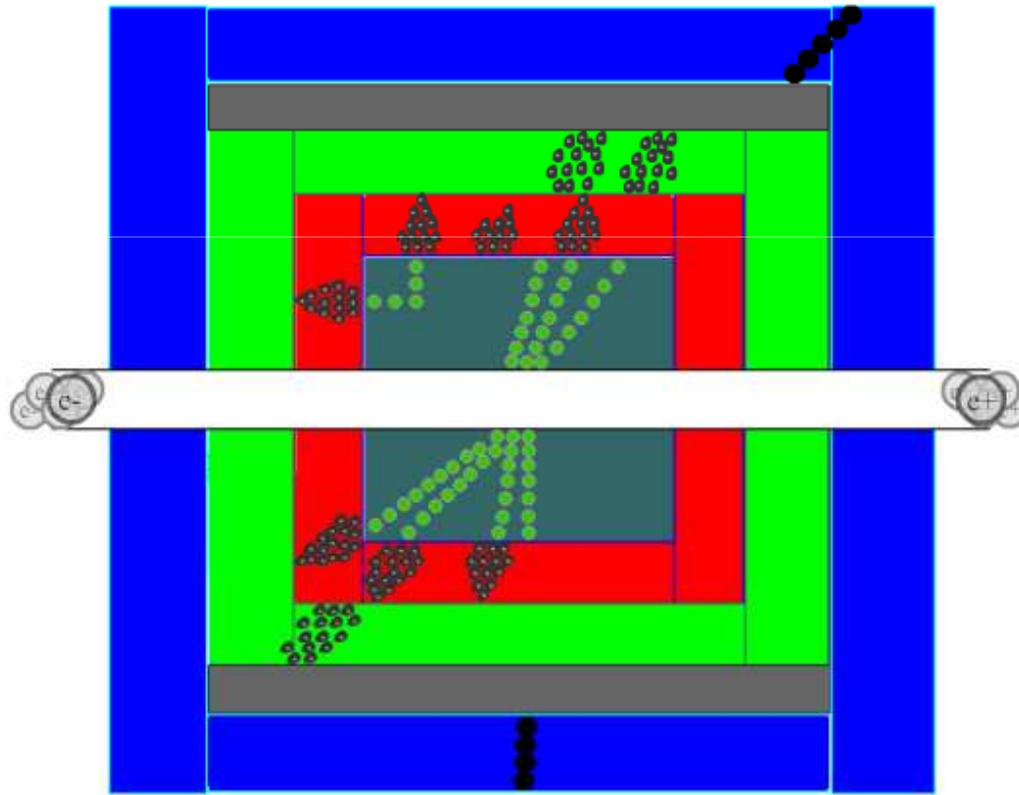
Identification de la désintégration du Z

- $Z \rightarrow \tau^+ \tau^-$ (un exemple)



Identification de la désintégration du Z

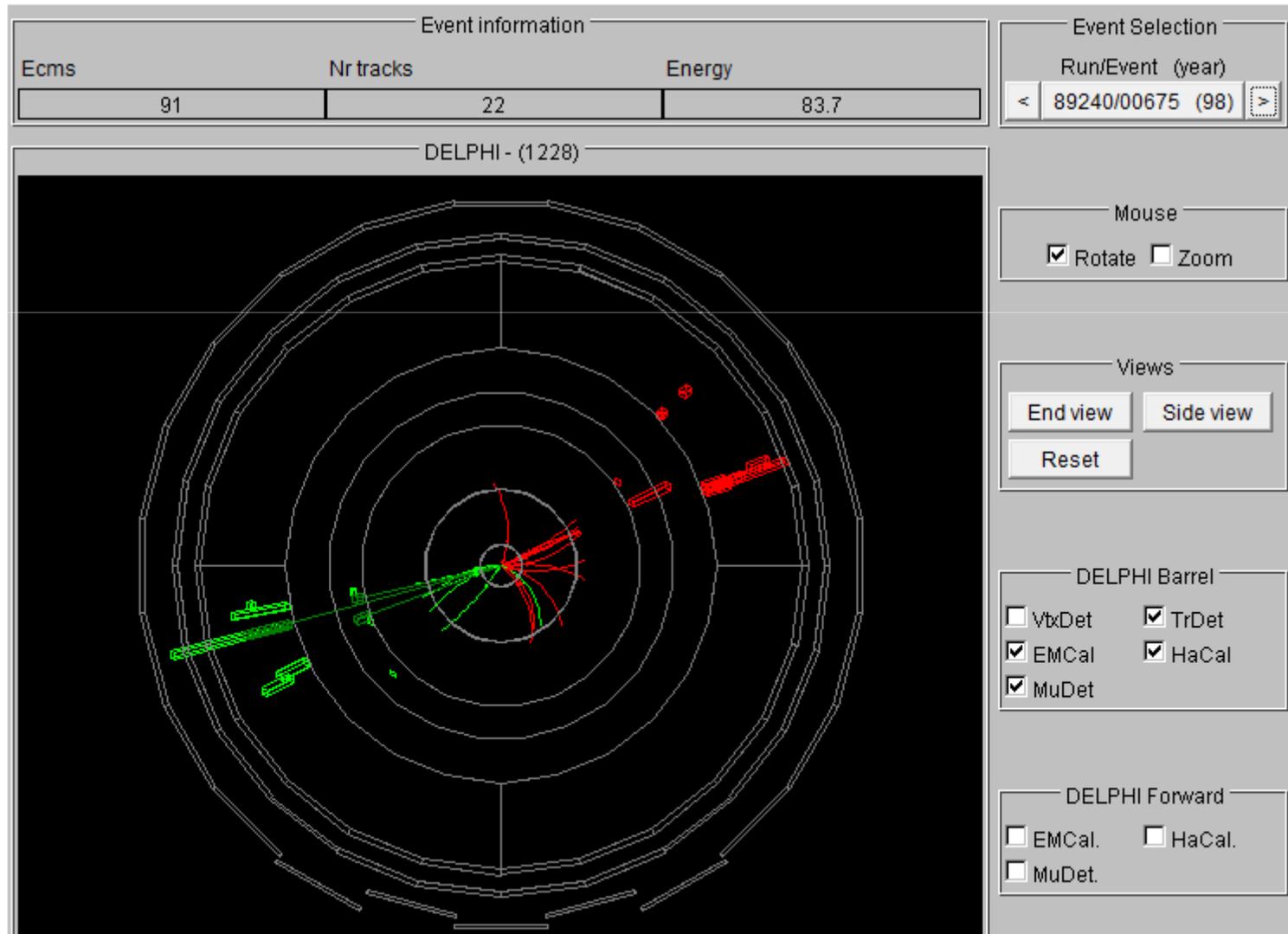
- $Z \rightarrow q \bar{q}$ (un exemple)



Les quarks produits se combinent rapidement en particules de 2 ou 3 quarks, ce qui donnent lieu à des **jets**.

Identification de la désintégration du Z

- $Z \rightarrow q \bar{q}$ (un exemple)



Précision sur les rapports d'embranchement



Quelle est la probabilité pour qu'un dé non pipé donne un « 6 » ?

On lance plusieurs fois le dé et on compte le nombre de fois que le « 6 » est sorti.

Nb de lancés N_{total}	Nb de « 6 » N_6	Probabilité d'obtenir un 6 $P_6 = N_6 / N_{\text{Total}}$
10	2	18,2%
100	13	12,9%
1000	157	15,7%

Plus le nombre de lancés est grand, plus on se rapproche de la vraie valeur.

Précision sur les rapports d'embranchement

L'incertitude commise dépend du nombre de lancés :

$$\text{incertitude sur } N_6 = \sqrt{N_6} \quad \text{Loi de Poisson}$$

$$\text{incertitude sur } P_6 = \frac{\sqrt{N_6}}{N_{total}}$$

Nb de lancés N_{total}	Nb de 6 N_6	Probabilité d'obtenir un 6 $P_6 \pm \text{erreur sur } P_6$
10	2	$(18,2 \pm 14,1) \%$
100	13	$(12,9 \pm 3,6) \%$
1000	157	$(15,7 \pm 1,3) \%$

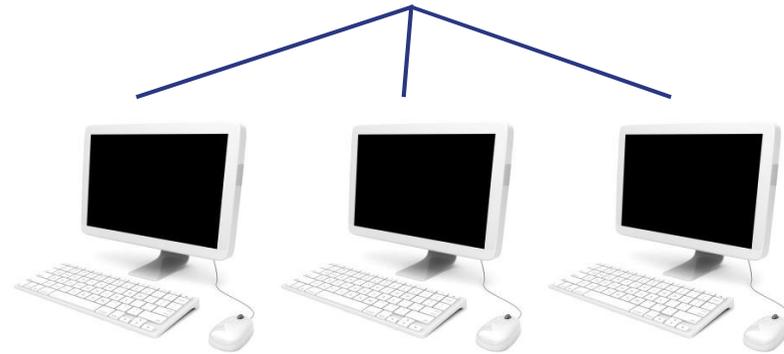
Application aux rapports d'embranchement

Plus on est de fous,

- Regroupement local

Chaque binôme analyse
50 événements.

→ **~1000 événements
traités**



- Regroupement international

Quatre autres classes dans le
monde effectuent l'exercice en
même temps que vous, mais avec
des événements différents.

→ **~5000 événements traités**



A vous à de jouer !



"Hands on Particle Physics"
International Masterclasses