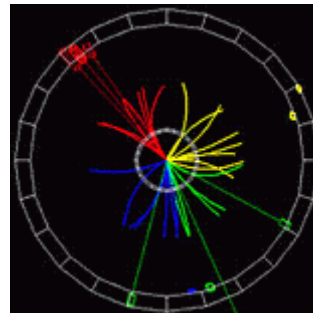


Travaux pratiques des MasterClasses : « Analyse des événements du détecteur DELPHI au LEP »

Sylvie Dagoret-Campagne
dagoret@lal.in2p3.fr

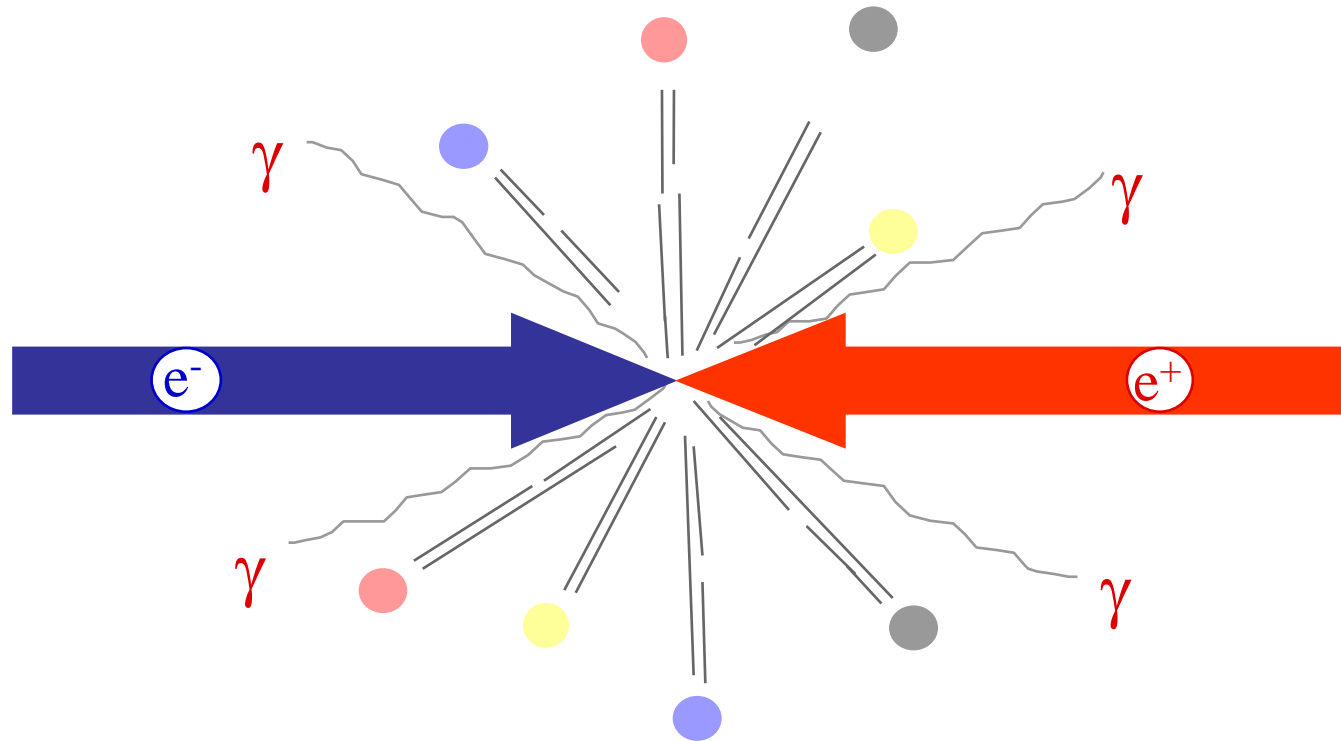


Objectif

- Regarder les événements $e^+e^- \rightarrow Z_0$ dans le détecteur DELPHI (50 à 100),
- Classer ces événements selon le mode de désintégration du Z_0
 - On va « scanner » les différents événements,
 - On va compter le nombre d'événement dans chaque mode
- Calculer le rapport d'embranchement du Z_0 dans ces différents modes c'est-à-dire la probabilité de désintégration
- On va comparer nos mesures avec celle effectuées dans d'autres classes par vidéoconférence avec le CERN.

Rappel : Que voulons nous étudier ?

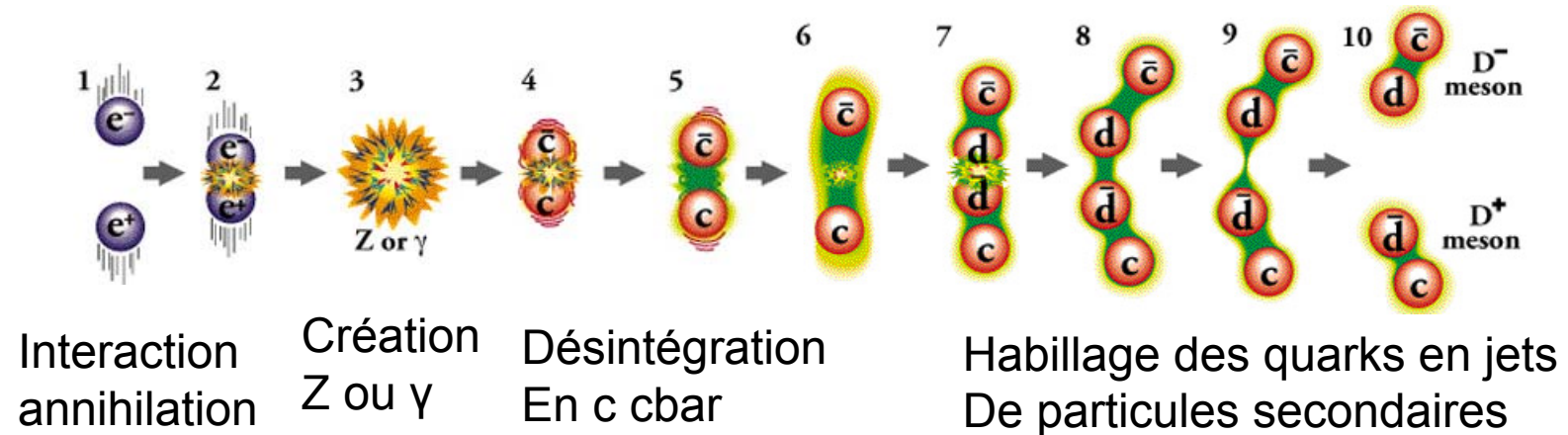
Une collision $e^+ e^-$



Qu'est ce qu'une réaction d'annihilation matière antimatière

✘ L'interaction d'une particule et de son antiparticule conduit à leurs destruction et de la transformation de leur masse et leur énergie cinétique en une nouvelle particule neutre, un photon ou un Z_0 .

✘ Après un temps très court la nouvelle particule crée se désintègre à nouveau en une paire de particule - antiparticule.

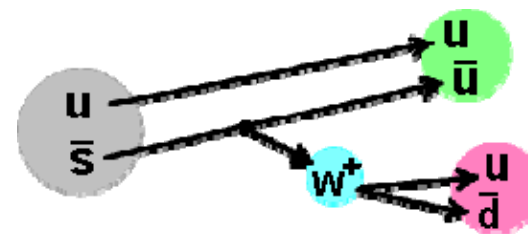


Désintégration

- Presque toutes les particules élémentaires sont instables
- Elles se désintègrent en particules de masse inférieure, avec des temps caractéristiques qui dépendent de l'interaction responsable de la désintégration
- Exemple de désintégration K^+ in $\pi^+\pi^0$



Observation



Interprétation

Désintégration du Z^0

Le Z_0 est une particule instable. Après avoir été produit, il doit se désintégrer dans des particules de matière plus légères que lui.

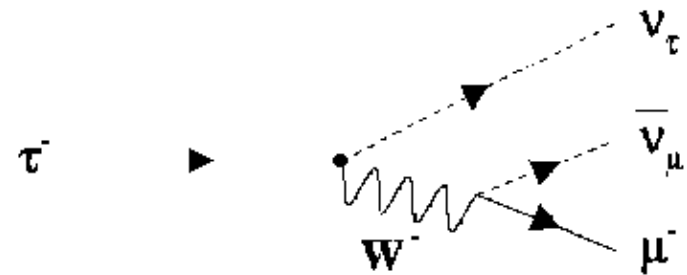
- Une particule Z_0 peut se désintégrer dans l'un des modes suivants:

- Deux électrons ($Z^0 \rightarrow e^+ + e^-$) ~3,3 %
- Deux muons ($Z^0 \rightarrow \mu^+ + \mu^-$) ~3,3 %
- Deux taus ($Z^0 \rightarrow \tau^+ + \tau^-$) ~3,3 %
- Deux neutrinos ($Z^0 \rightarrow \nu + \nu$) ($\nu = \nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$) ~20 % **INVISIBLE!**
- Deux quarks ($Z^0 \rightarrow q + q$) ($q = u, d, c, s, b$ le t est plus lourd que le Z_0) ~70 %

Désintégration du τ

Le tau se désintègre par l'intermédiaire d'un boson intermédiaire W

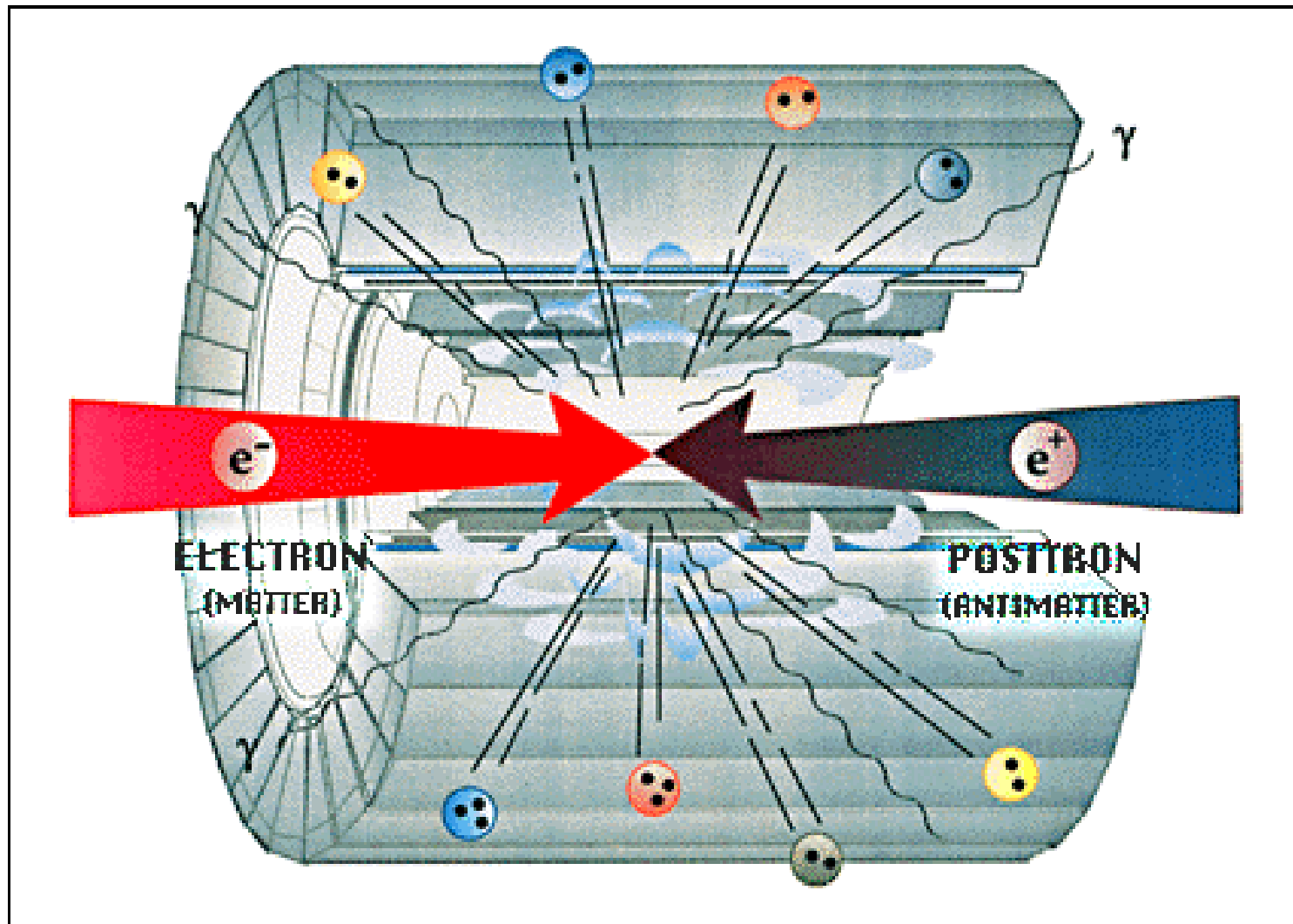
- $\tau^- \rightarrow \mu^- + \nu_\mu + \nu_\tau$ ~18 %
 - $\tau^- \rightarrow e^- + \nu_e + \nu_\tau$ ~18 %
 - $\tau^- \rightarrow h^- + n\gamma + \nu_\tau$ ~49 %
 - $\tau^- \rightarrow h^- h^+ h^- + n\gamma + \nu_\tau$ ~15 %
- (h un hadron générique)



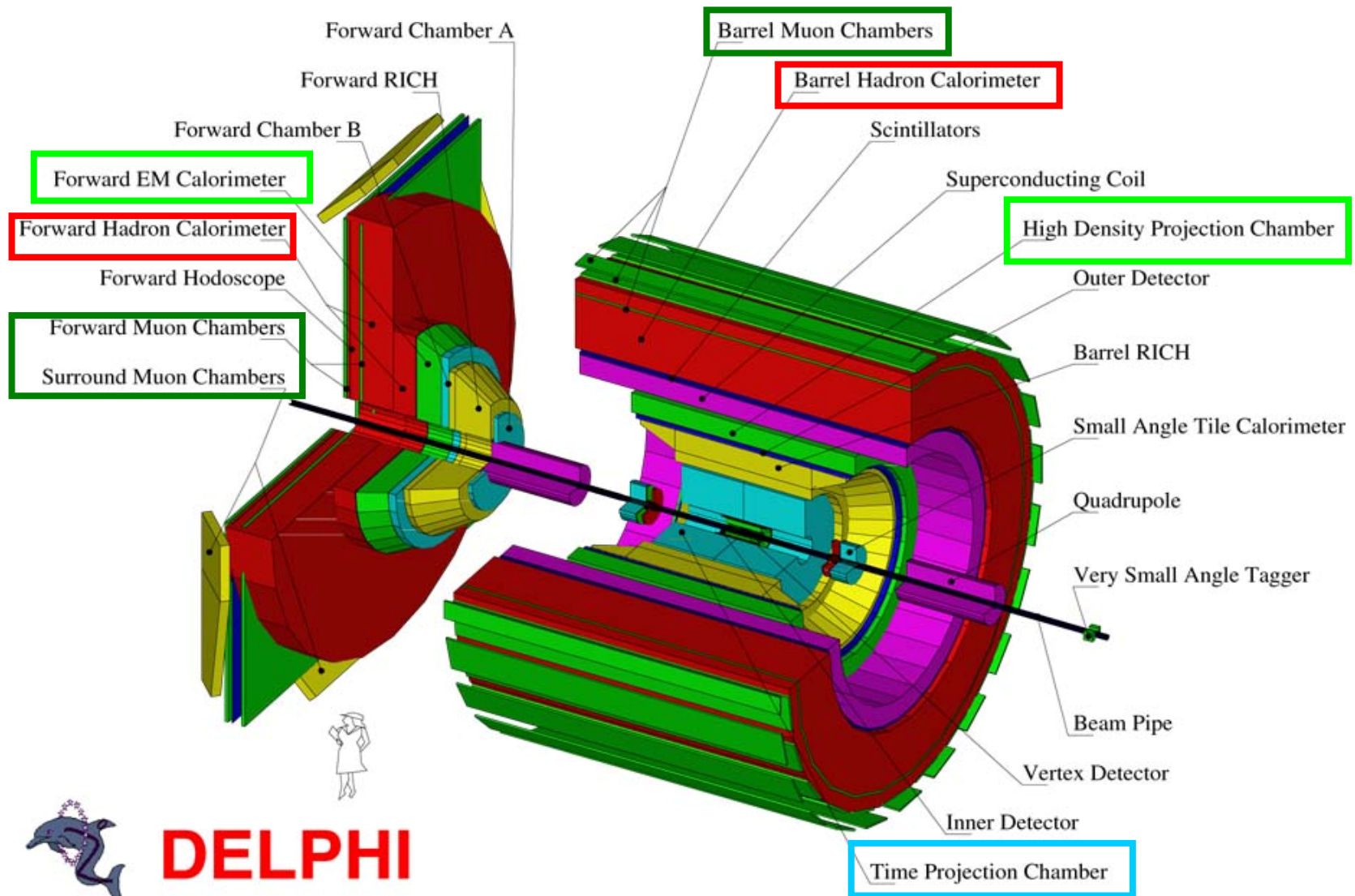
Soit un événement $Z^0 \rightarrow \tau^+ + \tau^-$ les 2 τ se désintègrent indépendamment, il y a alors les différents états finaux possibles:

- 2 électrons
- 2 muons
- 1 électron 1 muon
- 1 électron et 1/des hadrons
- 1 muon 1/des hadrons
- des hadrons

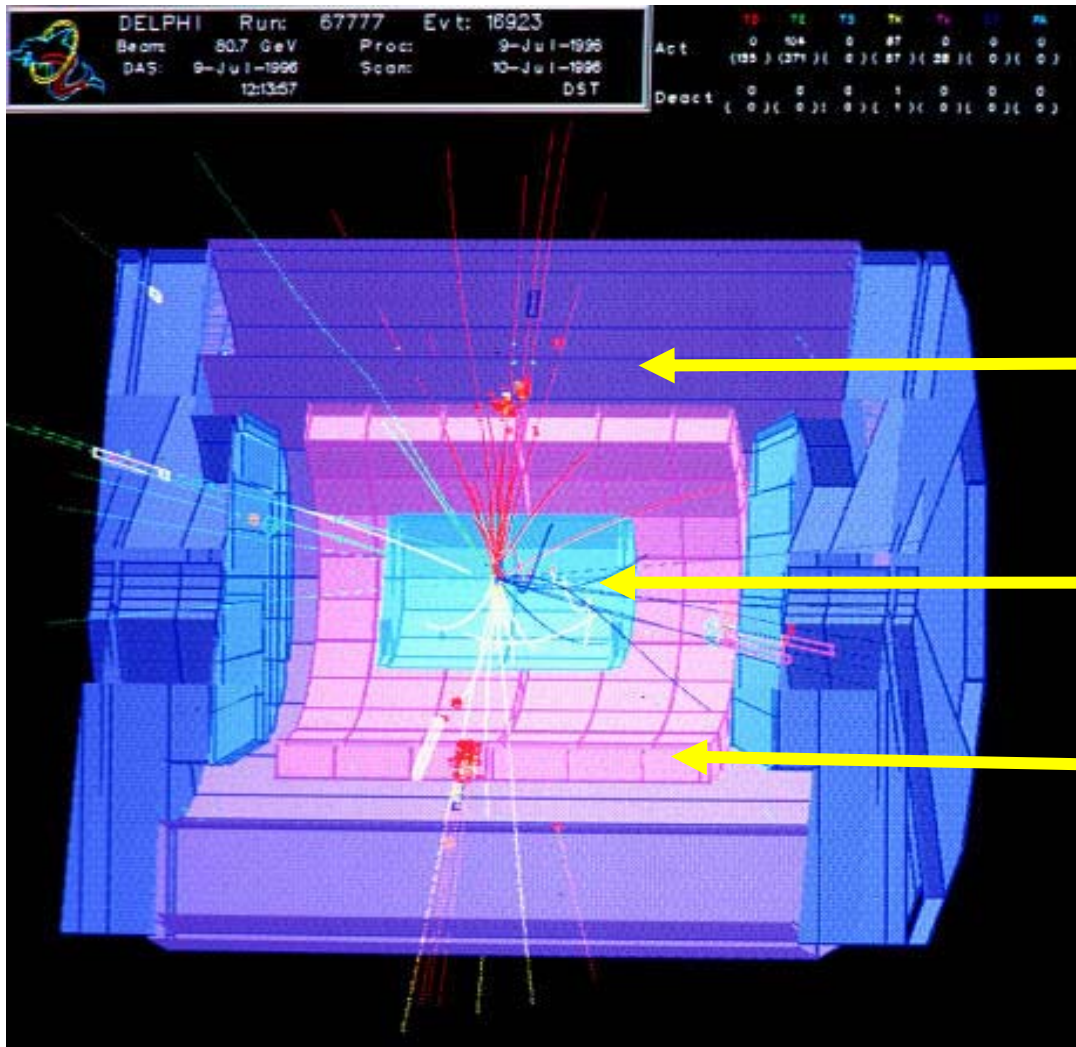
On observe les produits de la collision dans un détecteur



Le détecteur DELPHI



Le Détecteur DELPHI simplifié

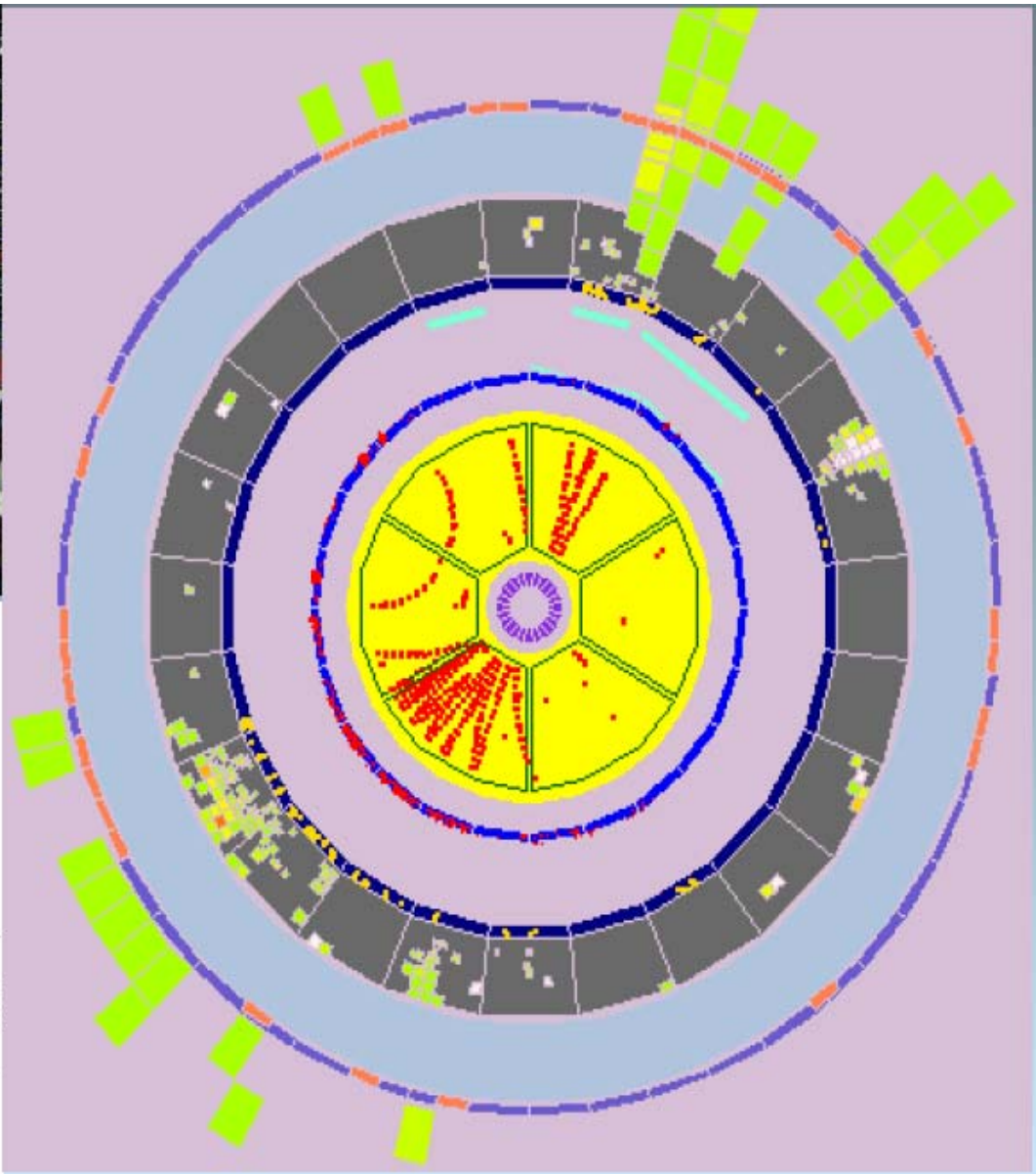
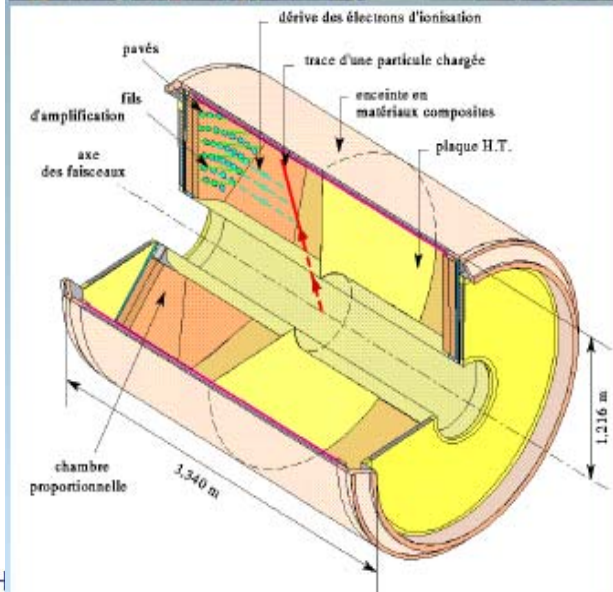
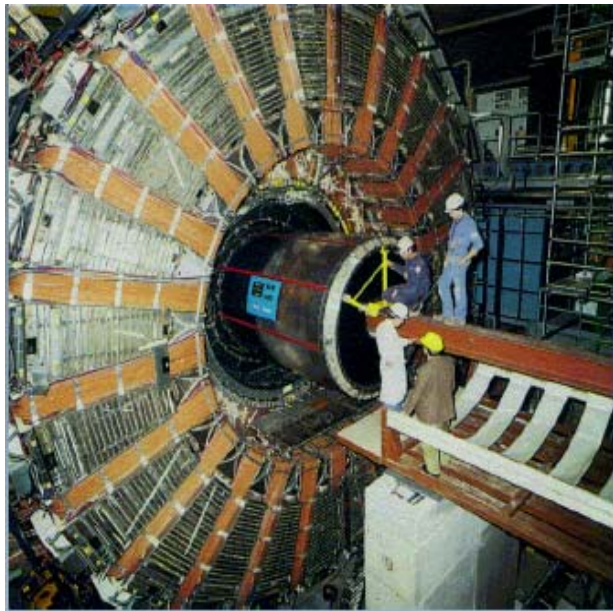


Le calorimètre
hadronique

Détecteur de
traces

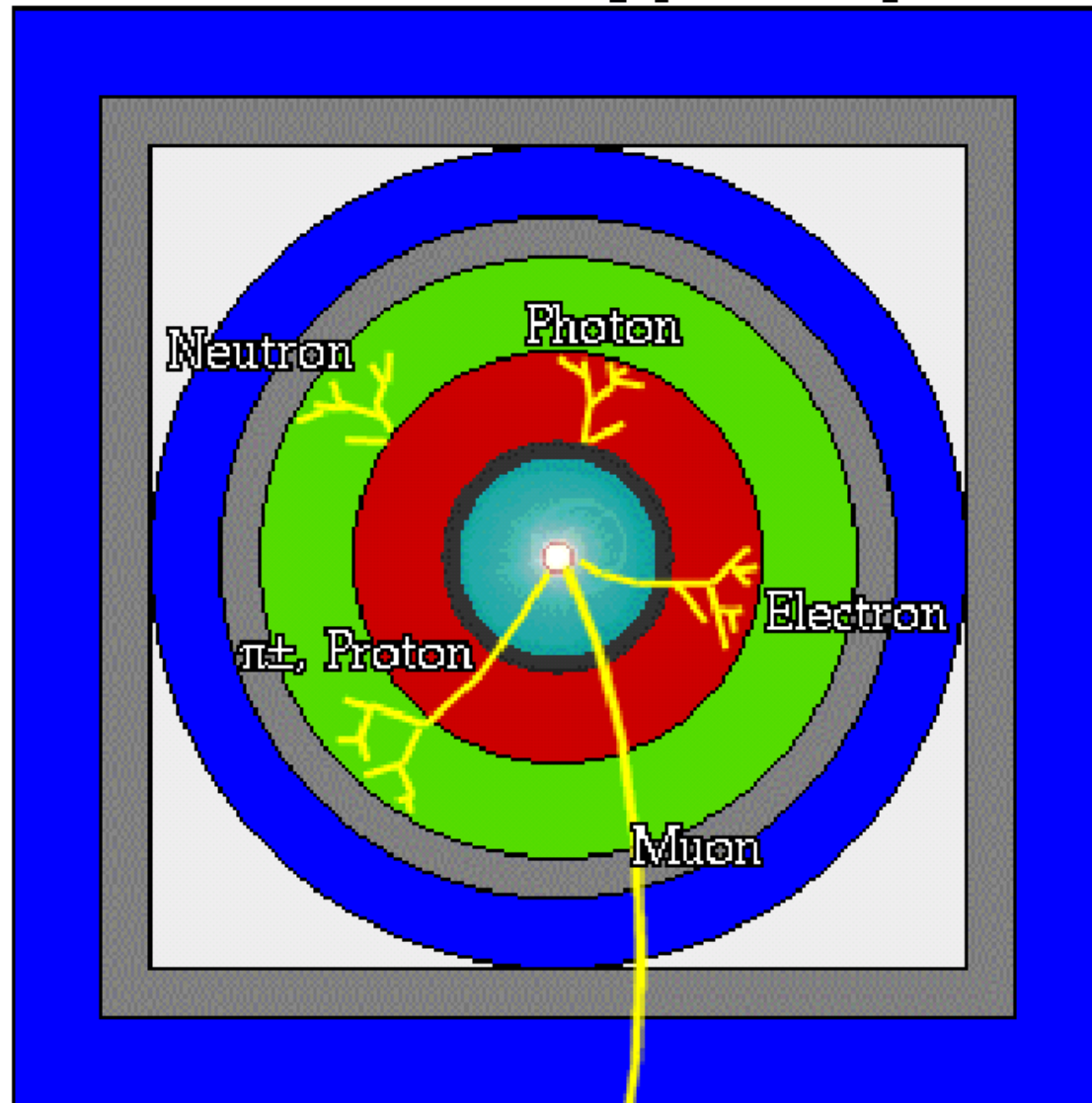
Le calorimètre
électromagnétique

Visualisation d'événements avec le détecteur DELPHI

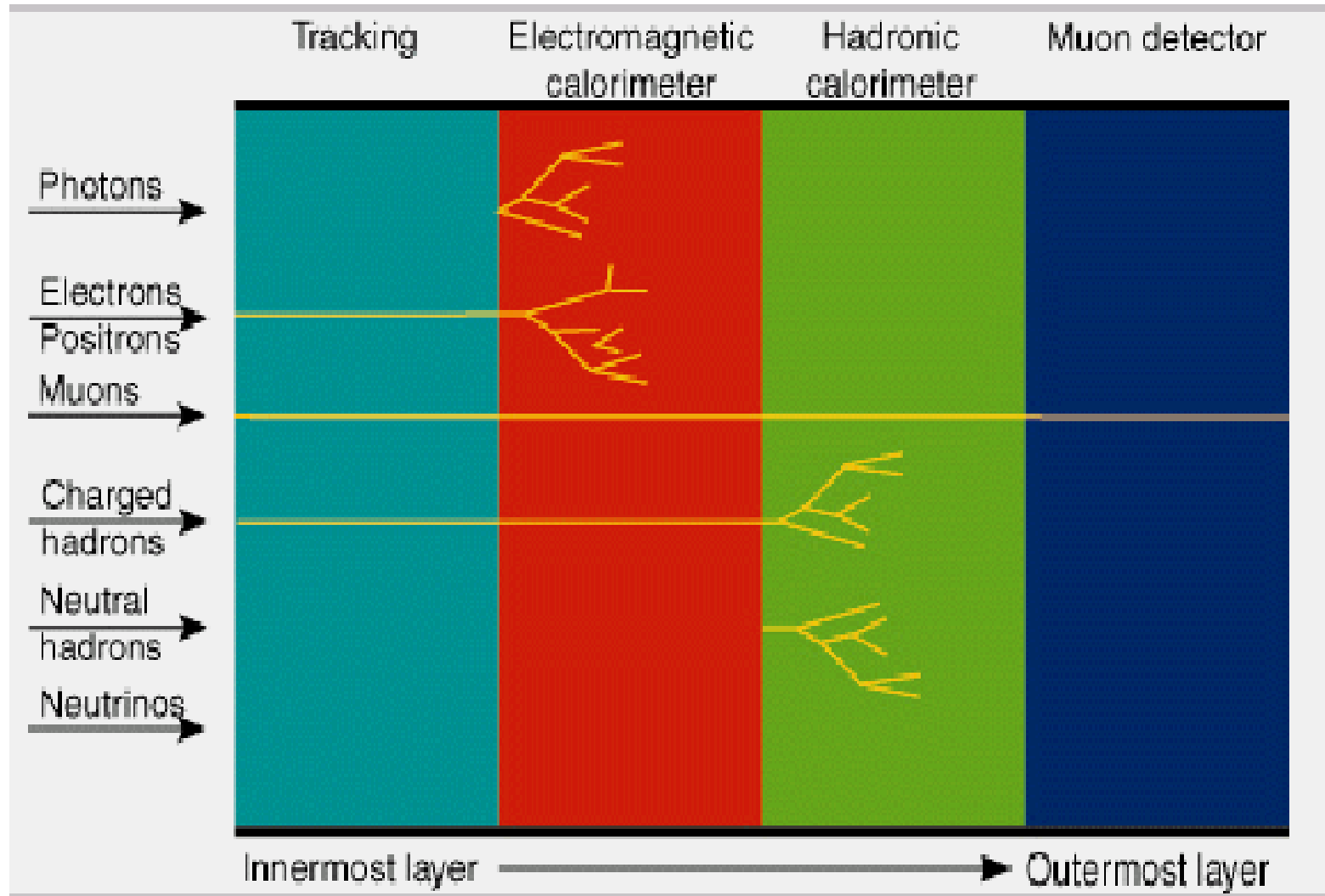


Coupe transversale d'un détecteur typique

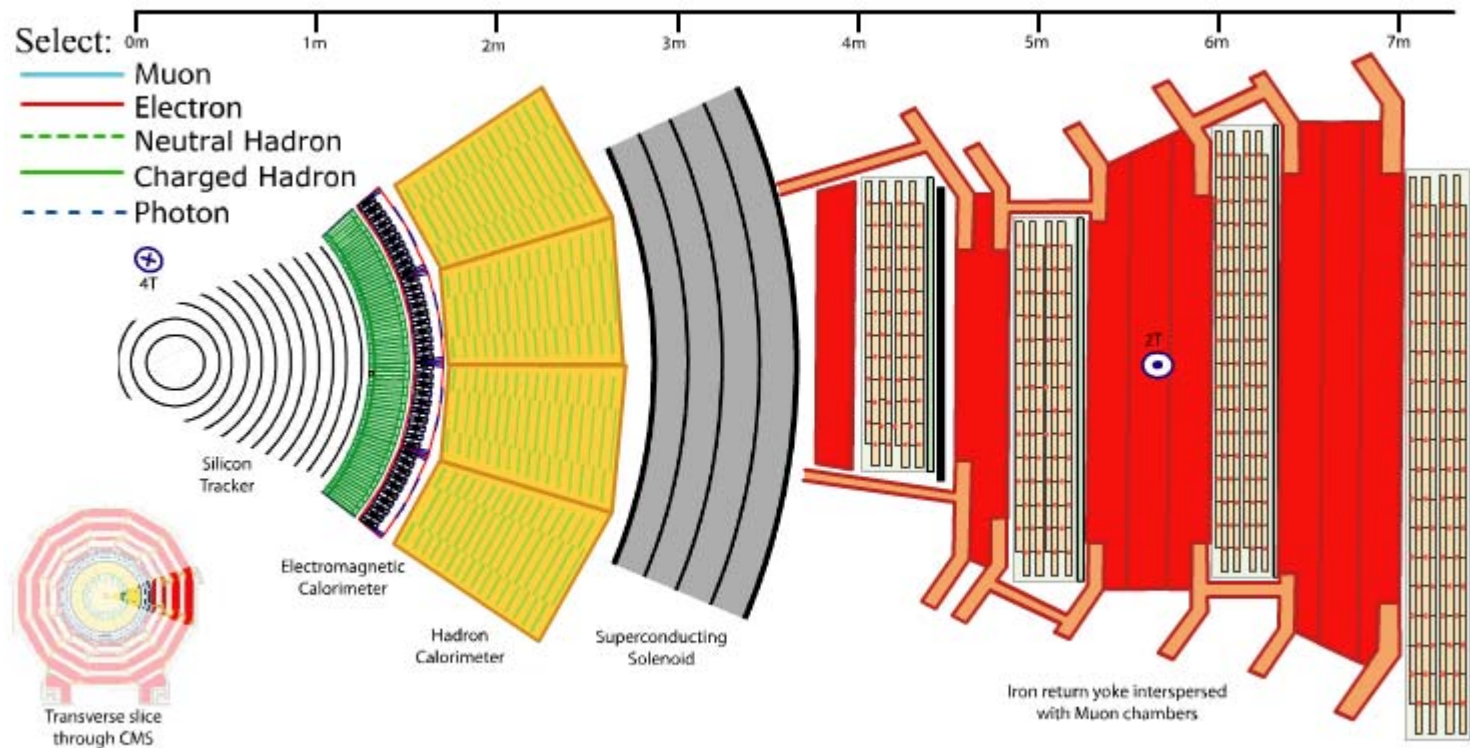
- Beam Pipe (center)
- Tracking Chamber
- Magnet Coil
- E-M Calorimeter
- Hadron Calorimeter
- Magnetized Iron
- Muon Chambers



Coupe Transversale d'un détecteur typique

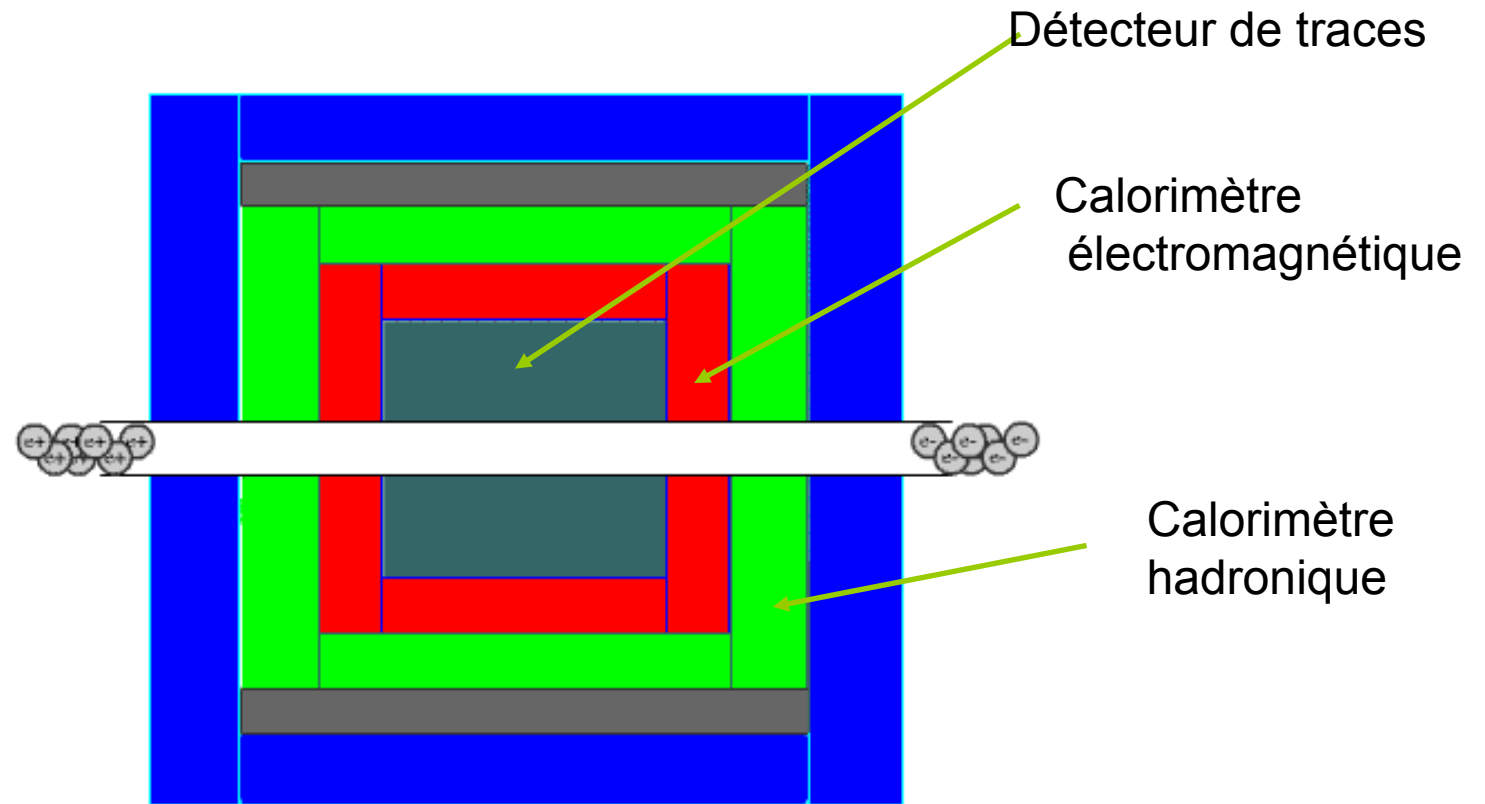


Exemple de détection « interactive » dans le détecteur CMS au LHC

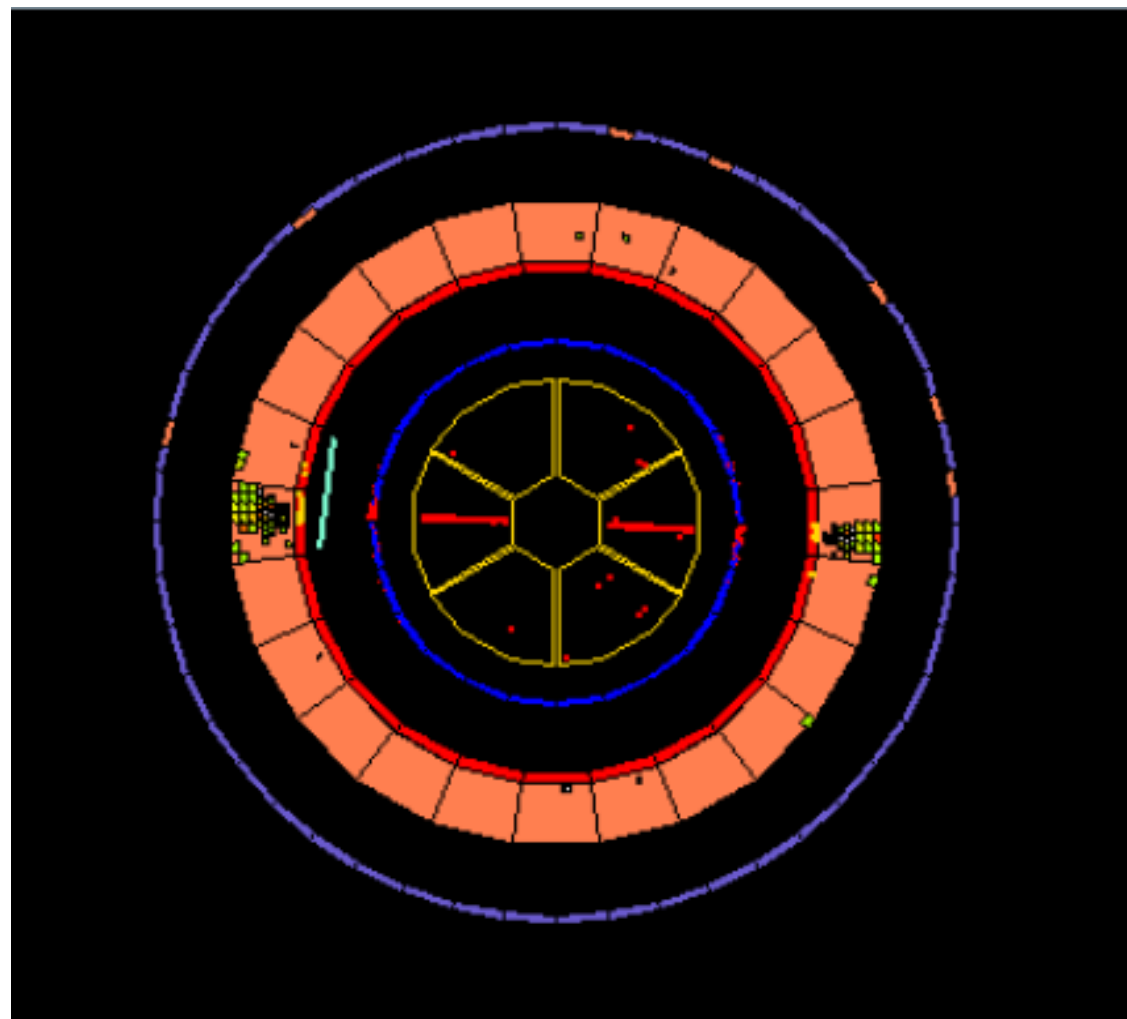


$$Z \rightarrow e^+e^-$$

Deux traces à 180° l'une de l'autre,
Energie importante déposée dans le calorimètre électro-magnétique

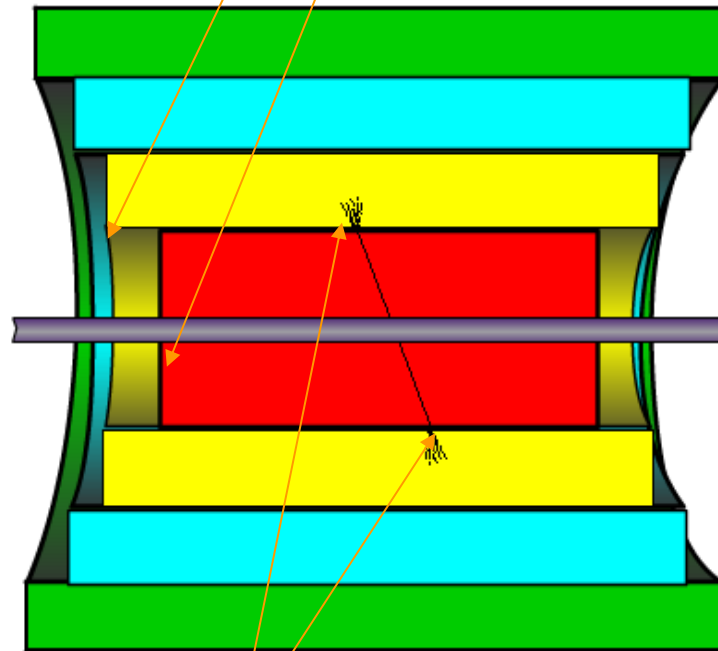


Un événement $Z_0 \rightarrow e^+e^-$ dans DELPHI



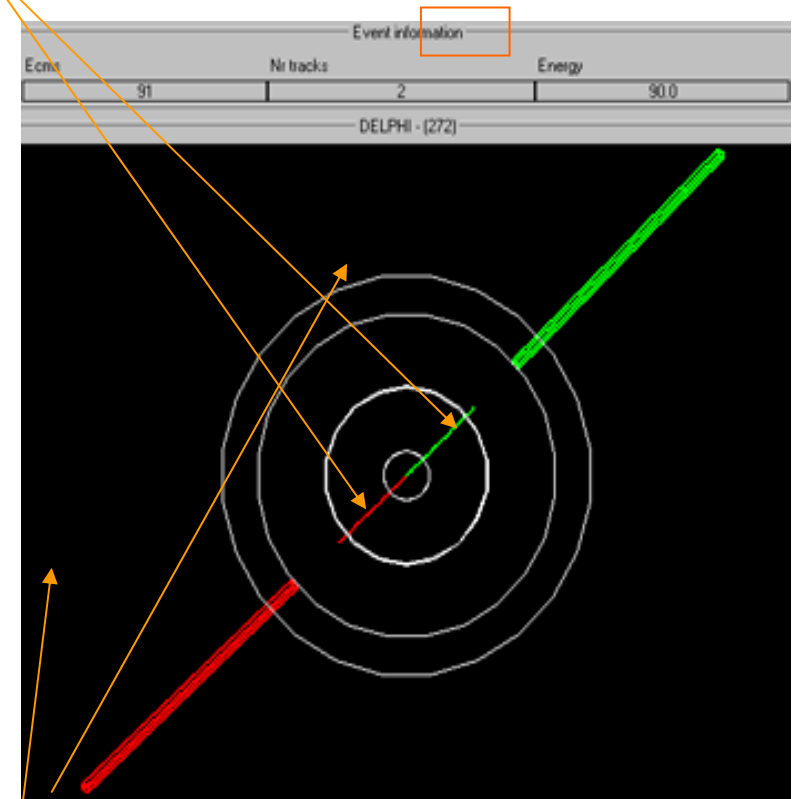
Exemple de $Z \rightarrow e^+e^-$

Détecteur de traces :
-2 traces seules
-directions opposées



Calorimètre électromagnétique :
-2 dépôts E (taille=dépôt≠direction)

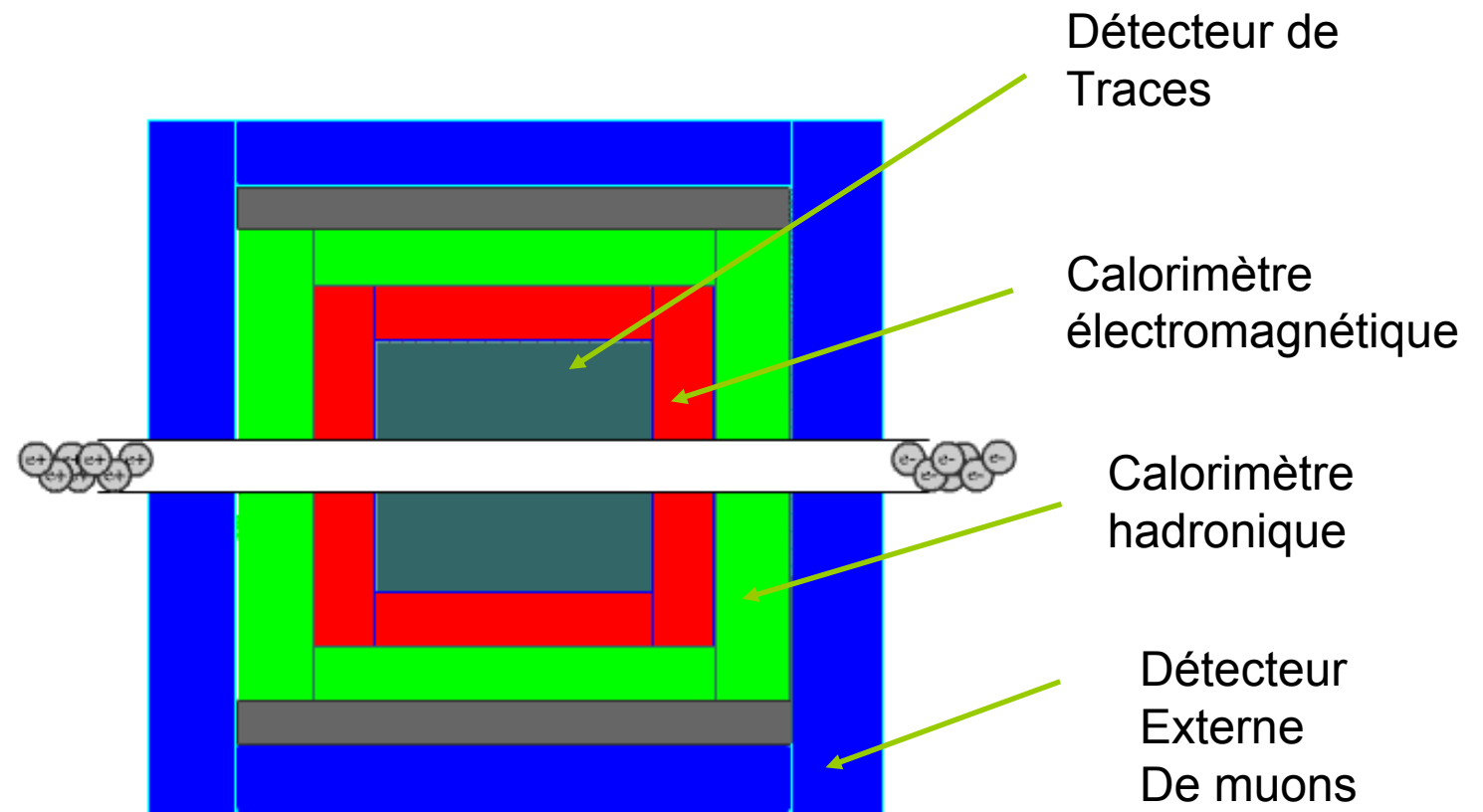
Détecteur de traces
calorimètre
électromagnétique
calorimètre hadronique
chambres à muons



~toute l'énergie mesurée (MET~0)

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

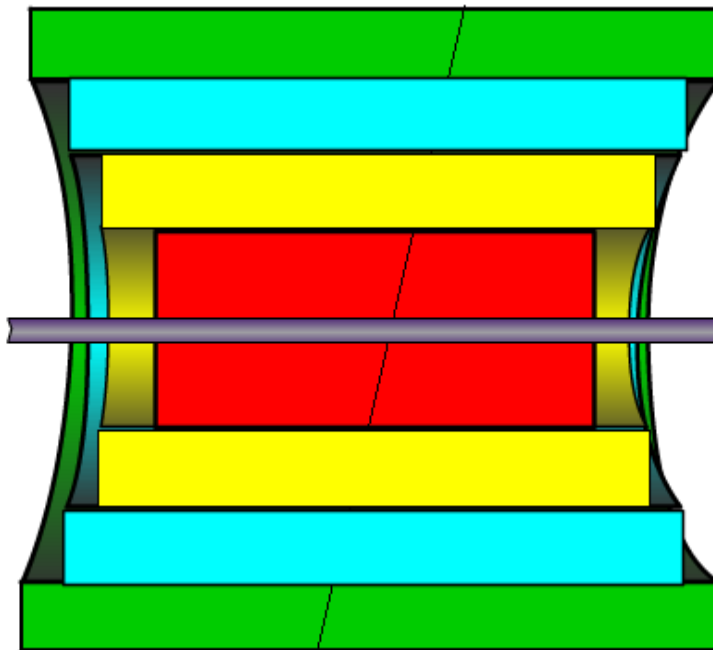
Deux traces émises à 180°,
Pas ou très peu de signal dans les calorimètres,
Signal dans les détecteurs externes (détecteurs de muons)



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

« μ » = muon

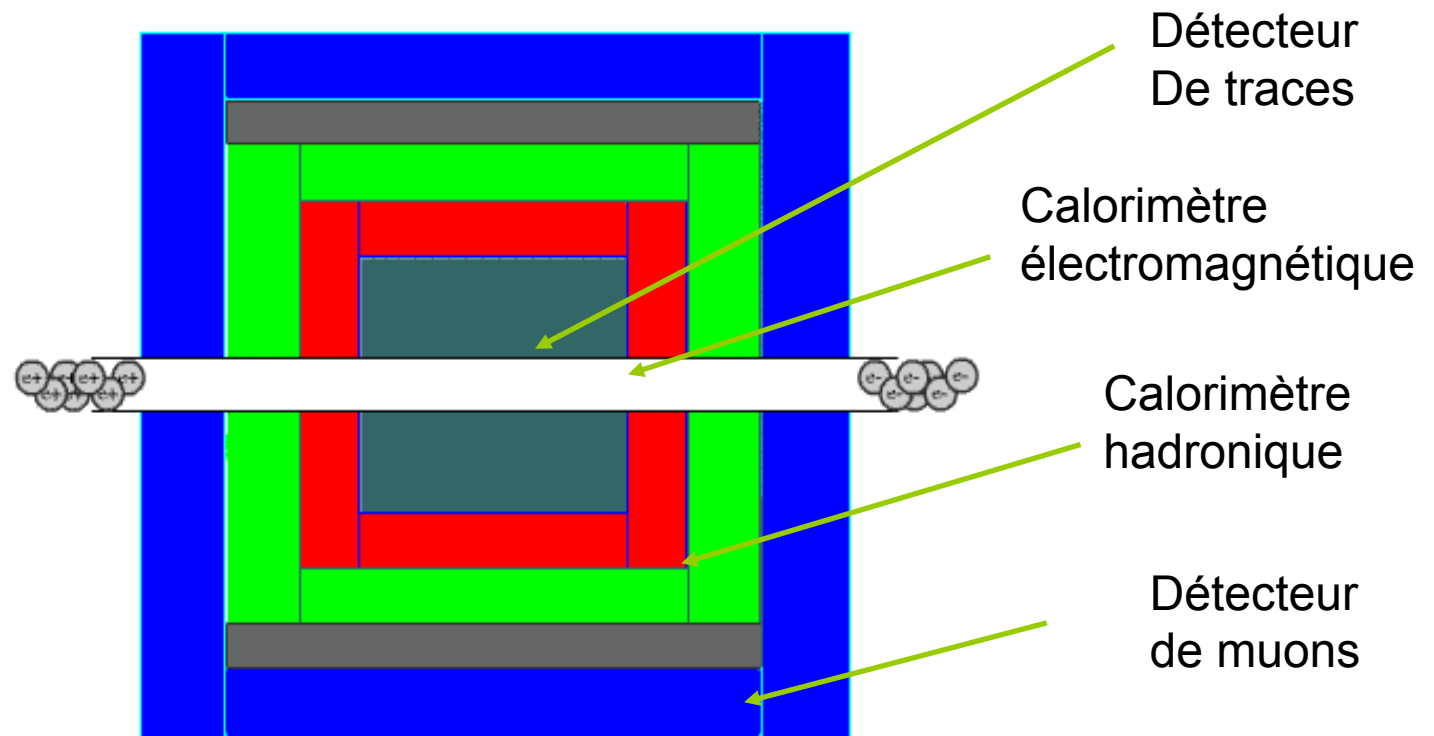
Détecteur de traces
calorimètre
électromagnétique
calorimètre hadronique
chambres à muons



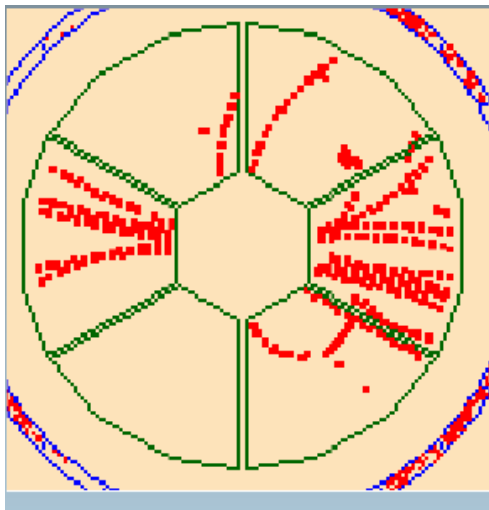
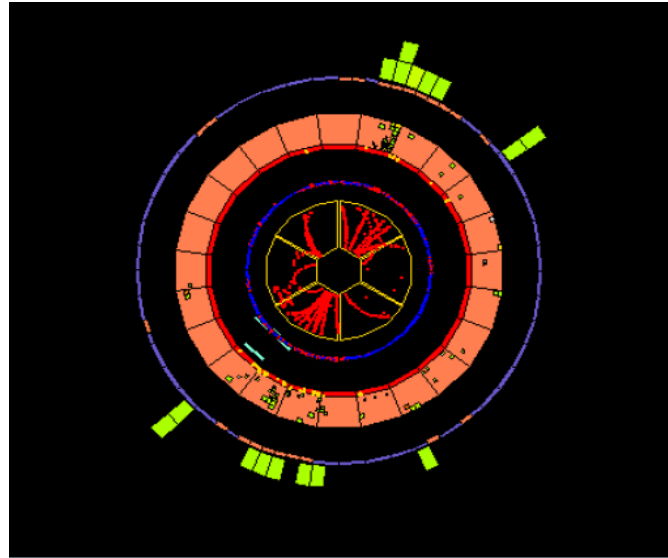
similaire à e^+e^- , mais μ :
mais signal dans chambre
à muons

$$Z \rightarrow qq$$

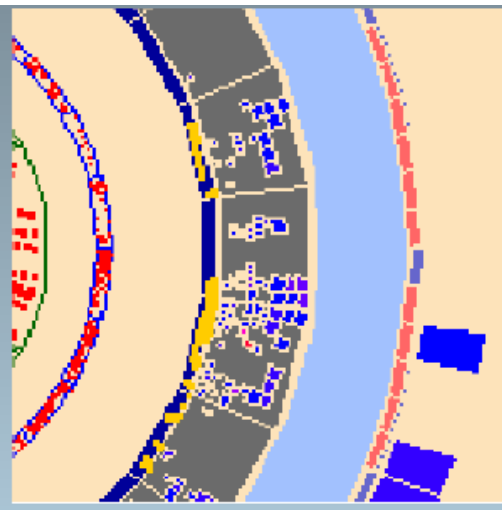
Les quarks donnent naissance à un jet de particules à cause de l'interaction forte qui habille les quarks. Il y a de nombreuses traces dans le détecteur de traces. Il peut y avoir 2, voir 3 et plus rarement 4 jets de particules de toute nature



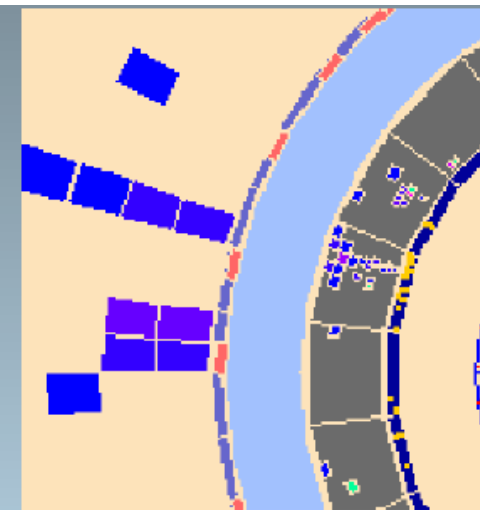
Un événement hadronique dans DELPHI : $Z^0 \rightarrow$ quarks et gluons



Détecteur de traces



Calorimètre
électromagnétique



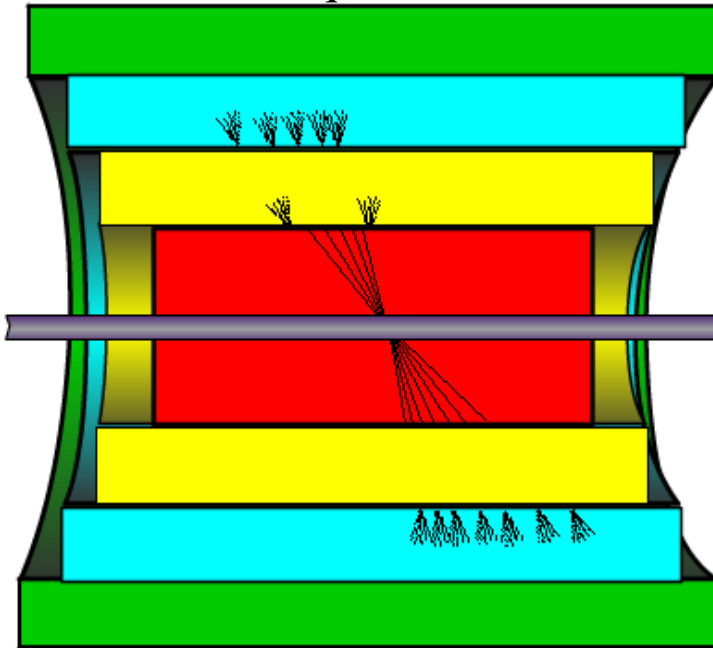
Calorimètre
hadronique

Exemple $Z \rightarrow qq$ 2 jets

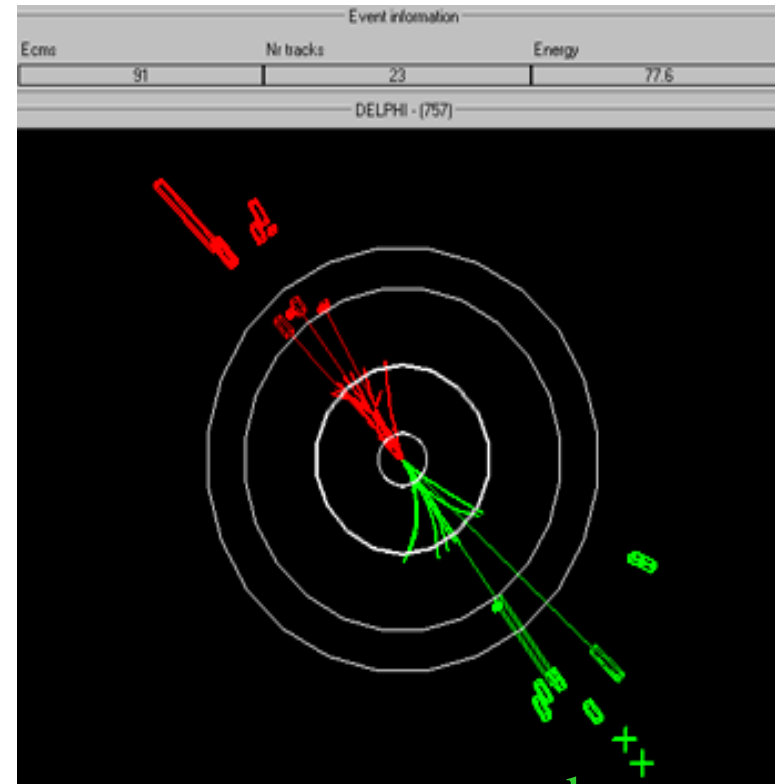
éloignement quarks
→ création paire q-q, etc... : jets

2 quarks → 2 jets (hadrons, autres particules)

traces
Calo électromagnétique
Calo hadronique



Détecteur de traces
calorimètre
électromagnétique
calorimètre hadronique
chambres à muons



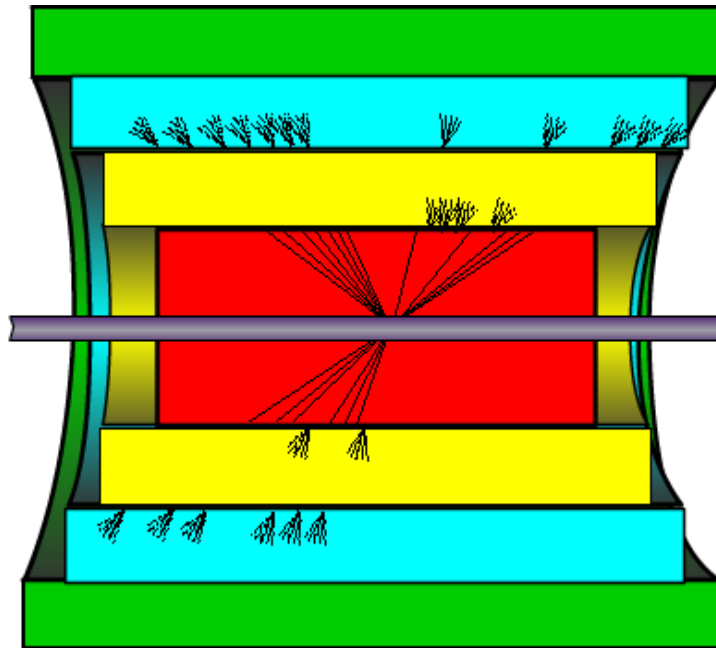
μ dans
jet

$Z \rightarrow q\bar{q}$ 3 jets

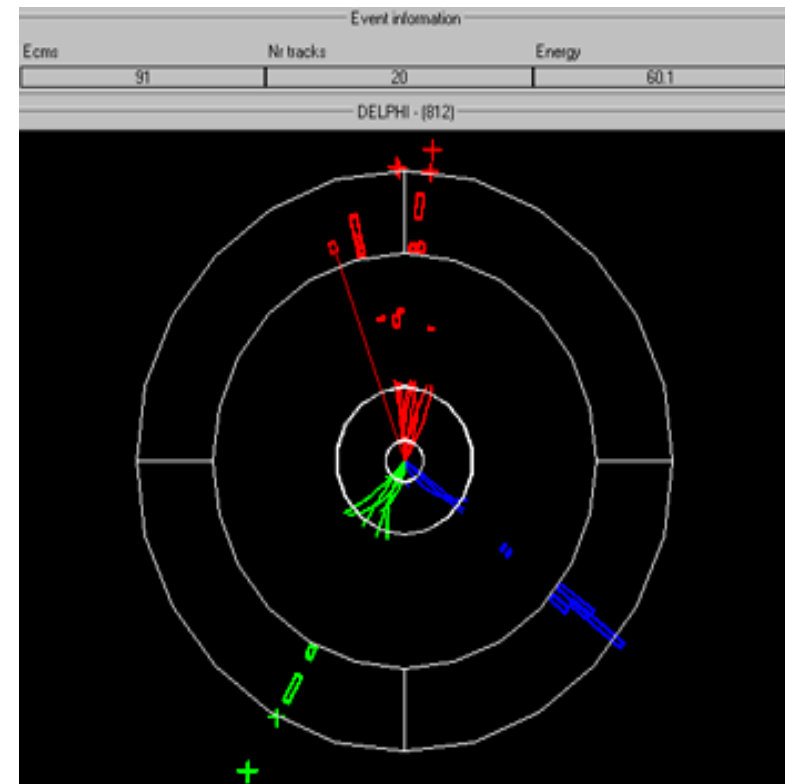
eg : $Z \rightarrow qq + 1$ gluon : topologie 3 jets

fréquent : q : émission gluon (\rightarrow jet)

\rightarrow topologies 2, 3, 4 jets...

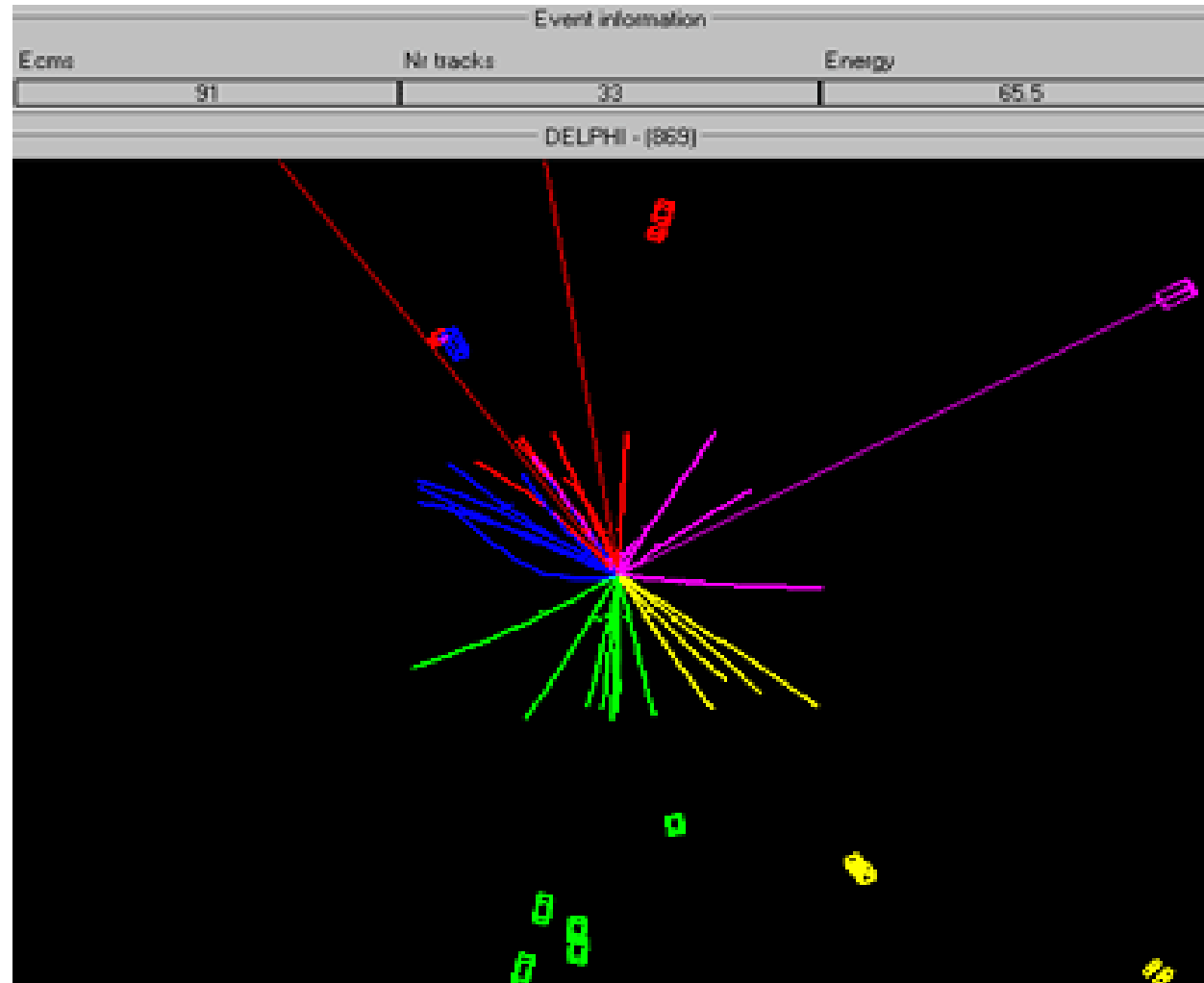


Détecteur de traces
calorimètre
électromagnétique
calorimètre hadronique
chambres à muons



$Z \rightarrow qq$ exemple de 5 jets

eg : $Z \rightarrow qq + 3 \text{ gluons} \rightarrow 5 \text{ jets}$



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

« τ » = tau

τ non détectés : désintégration rapide en autres particules

$$\tau \rightarrow e + \bar{\nu}_e + \nu_\tau \quad 17\%$$

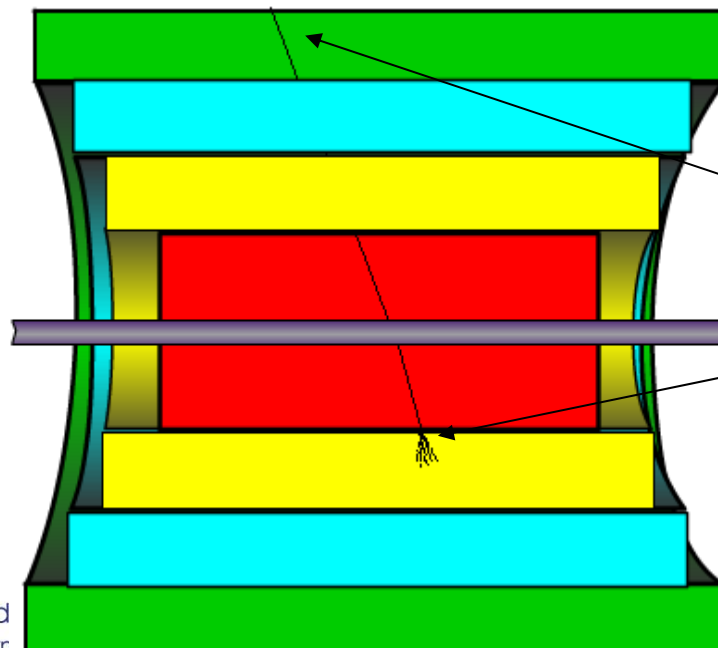
$$\tau \rightarrow \mu + \bar{\nu}_\mu + \nu_\tau \quad 17\%$$

$$\tau \rightarrow \text{hadron} + \nu_\tau \quad 65\%$$

Les neutrinos induisent de
L'énergie transverse manquante
importante (MET)

1, 3 traces chargées

→ $\tau\tau$: 2, 4 ou 6 traces chargées

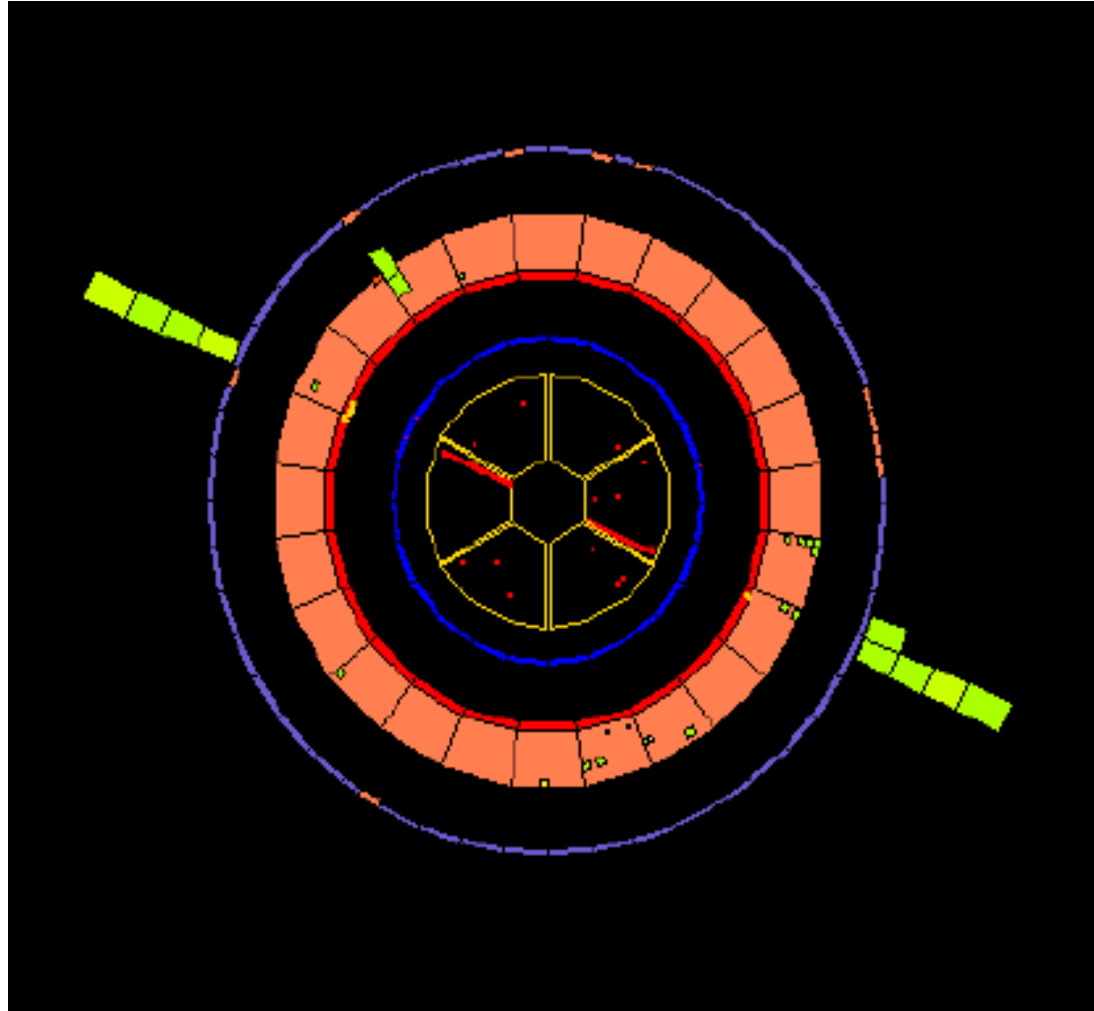


$$\tau \rightarrow \mu + \bar{\nu}_\mu + \nu_\tau$$

$$\tau \rightarrow e + \bar{\nu}_e + \nu_\tau$$

Détecteur de traces
calorimètre
électromagnétique
calorimètre hadronique
chambres à muons

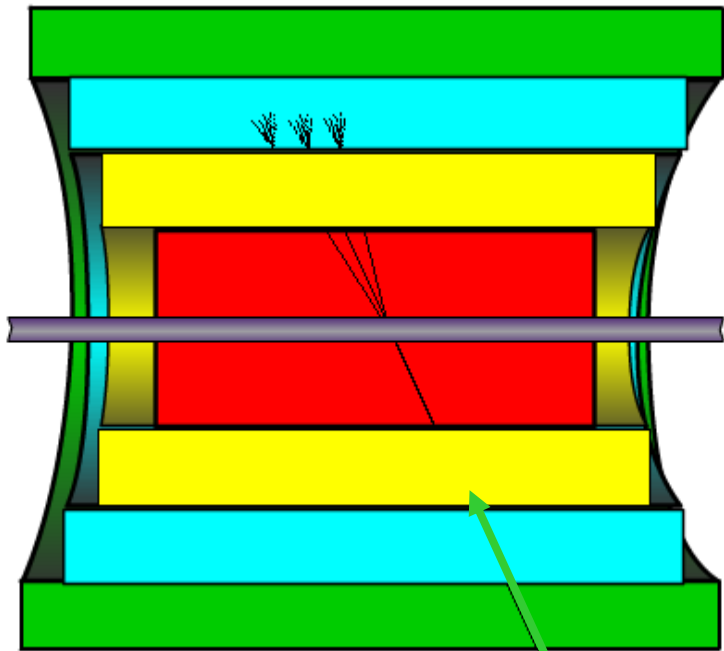
Événement $Z_0 \rightarrow \tau^+\tau^- \rightarrow \mu^+\mu^- \nu_\tau \nu_\tau \nu_\mu \nu_\mu$



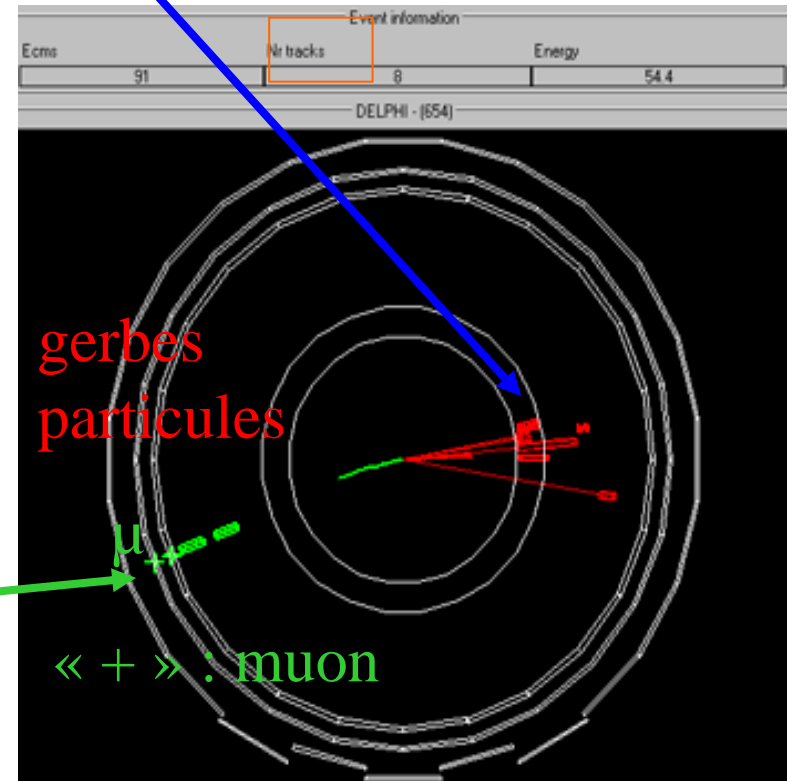
Autre exemple de $Z \rightarrow \tau^+ \tau^-$

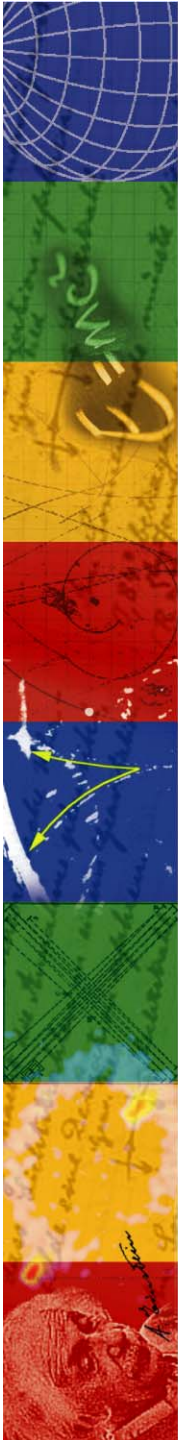
Détecteur de traces
calorimètre
électromagnétique
calorimètre hadronique
chambres à muons

τ : hadronique + ν_τ



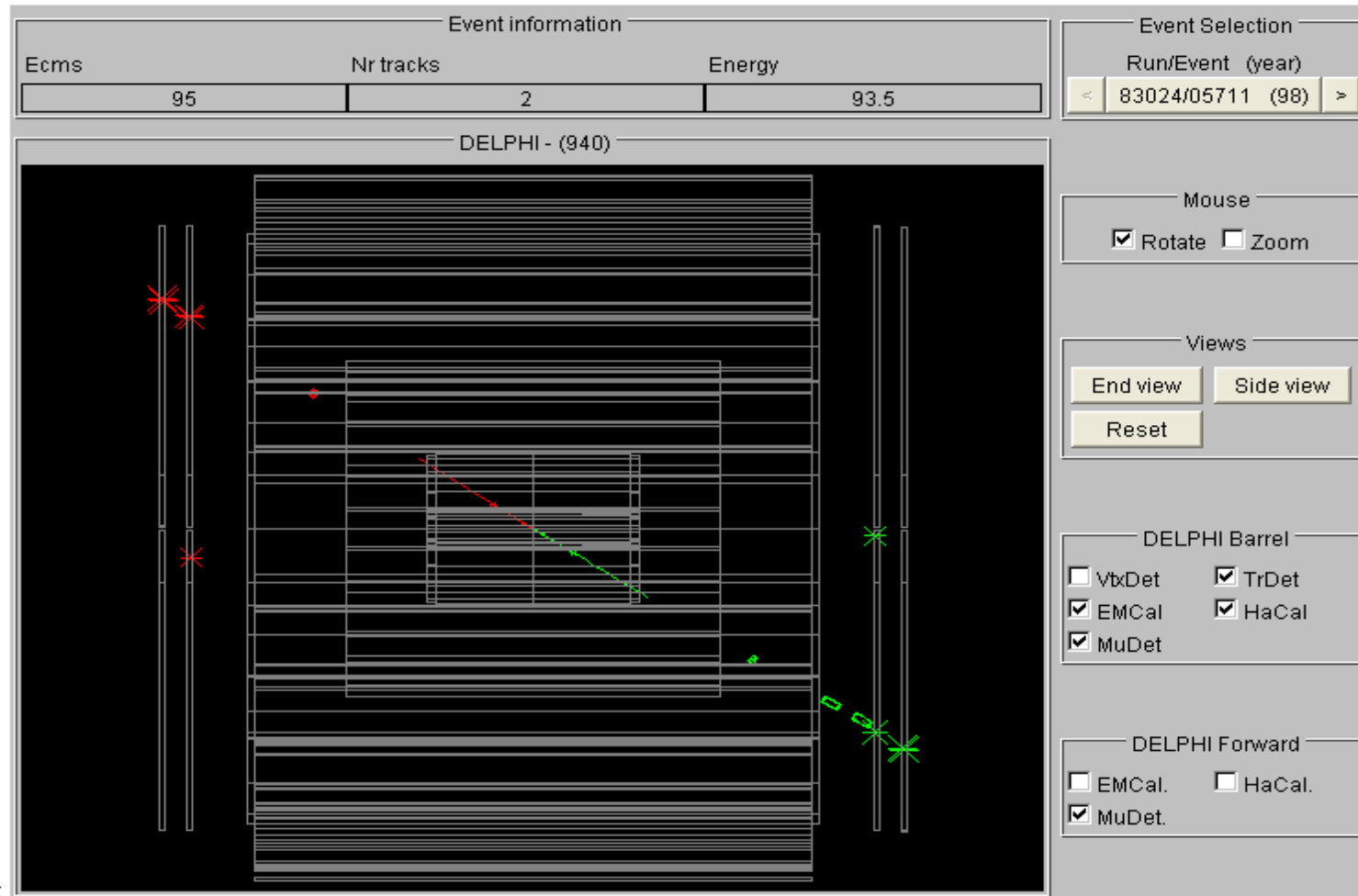
$\tau \rightarrow \mu + \nu_\mu + \nu_\tau$





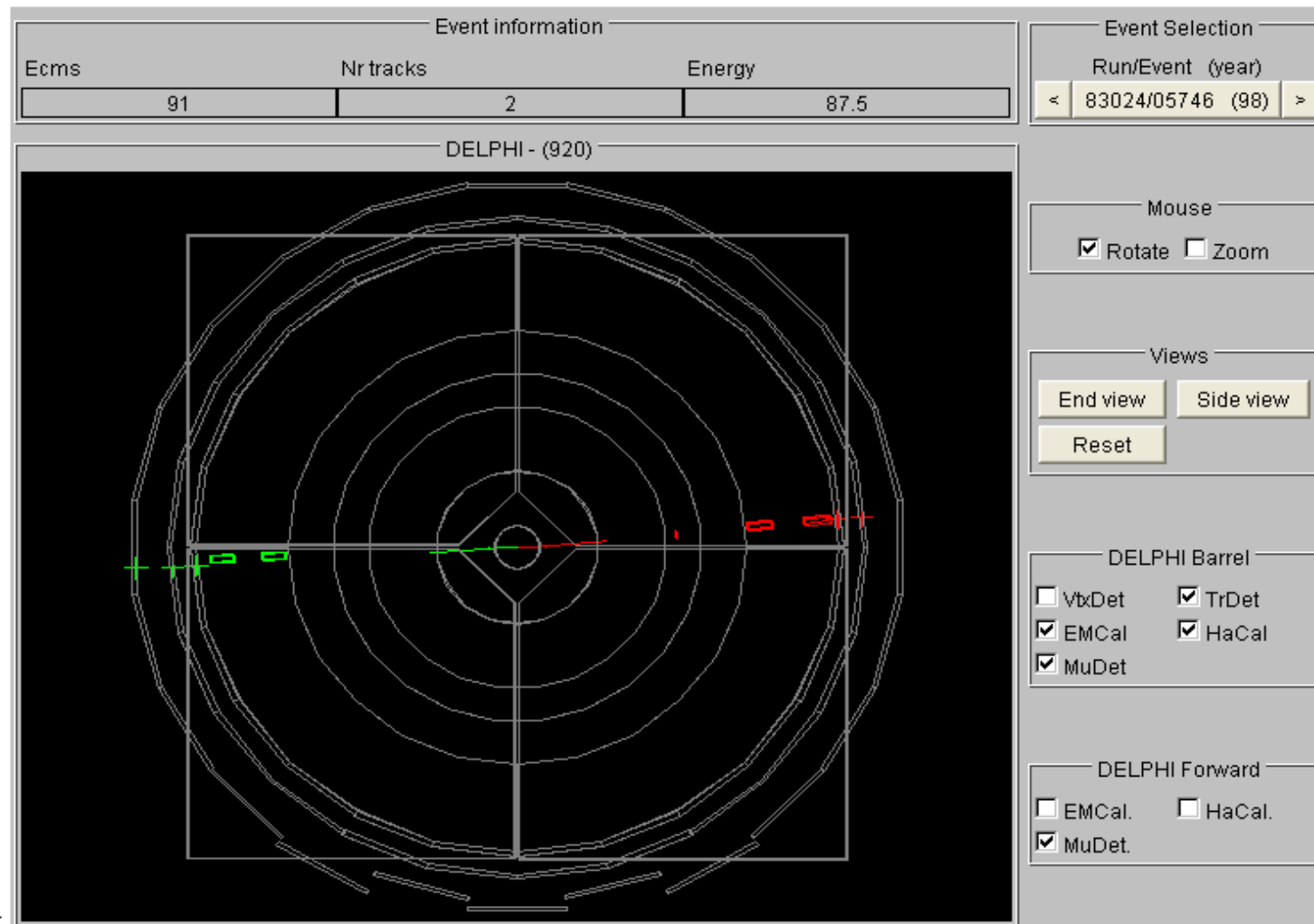
Entrainement à l'analyse d'événements

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



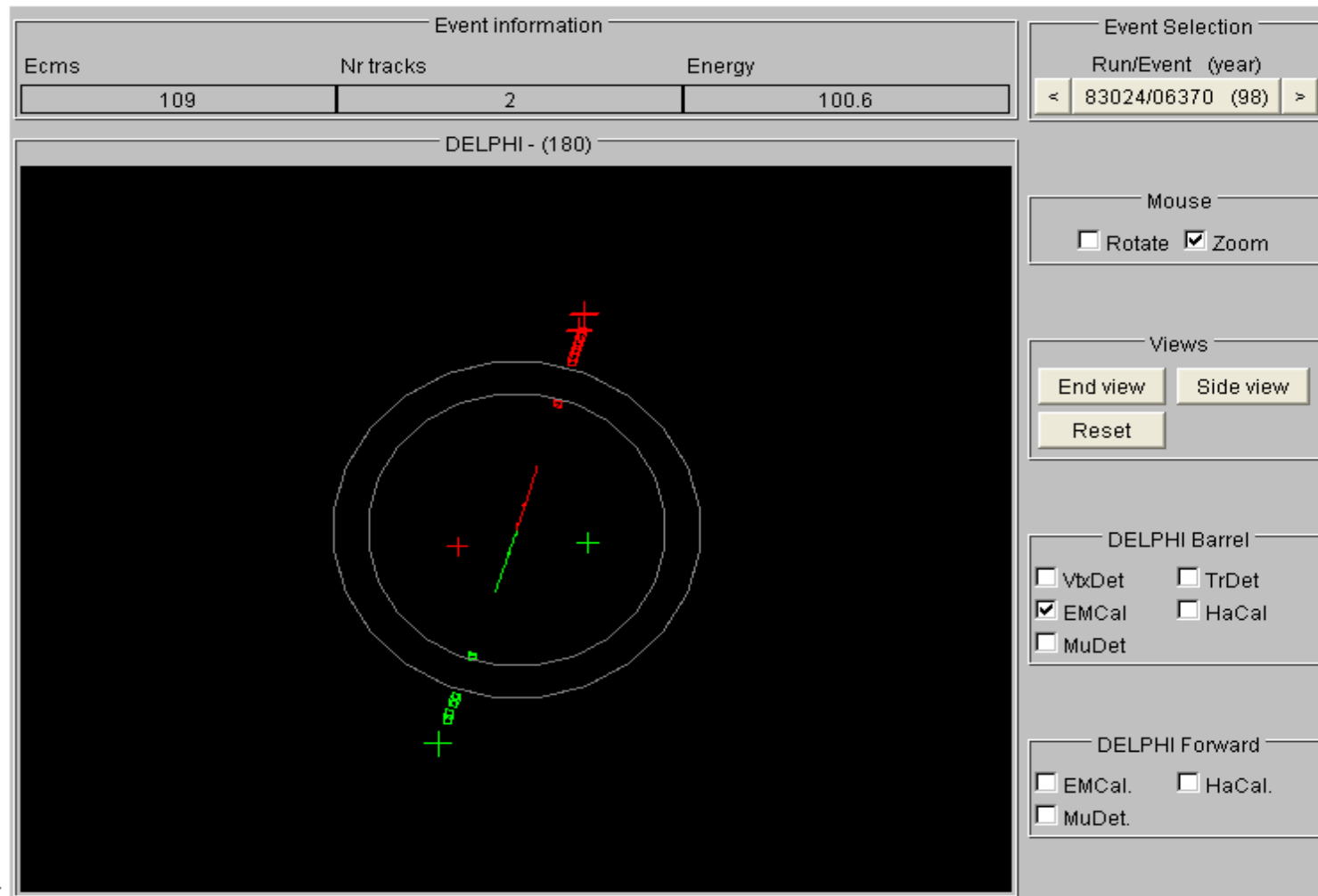
*WIRED Development Team, ECP/IPT
Copyright 1996, CERN, Geneva, Switzerland*

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



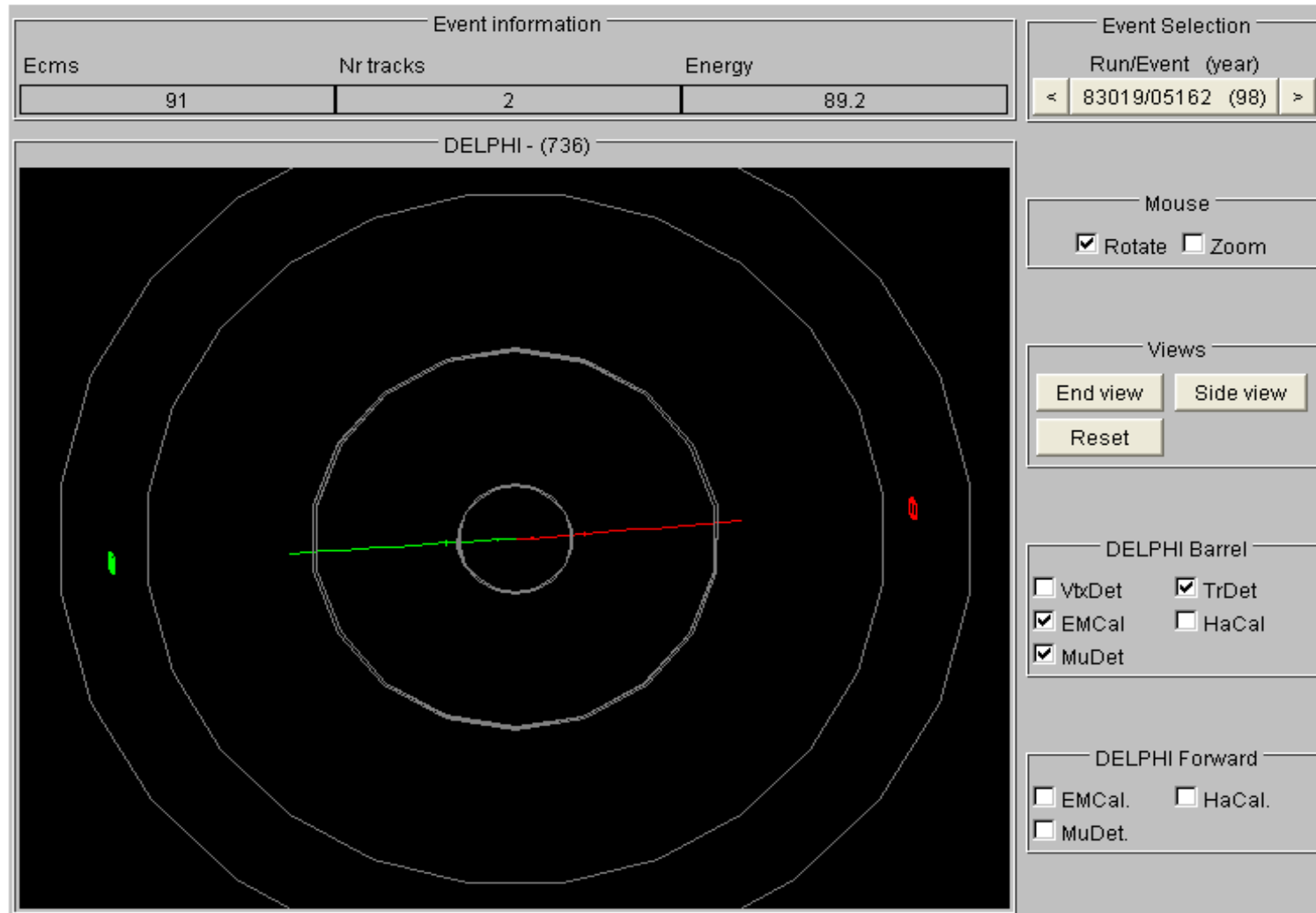
WIRED Development Team, ECP/IPT
Copyright 1996, CERN, Geneva, Switzerland

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



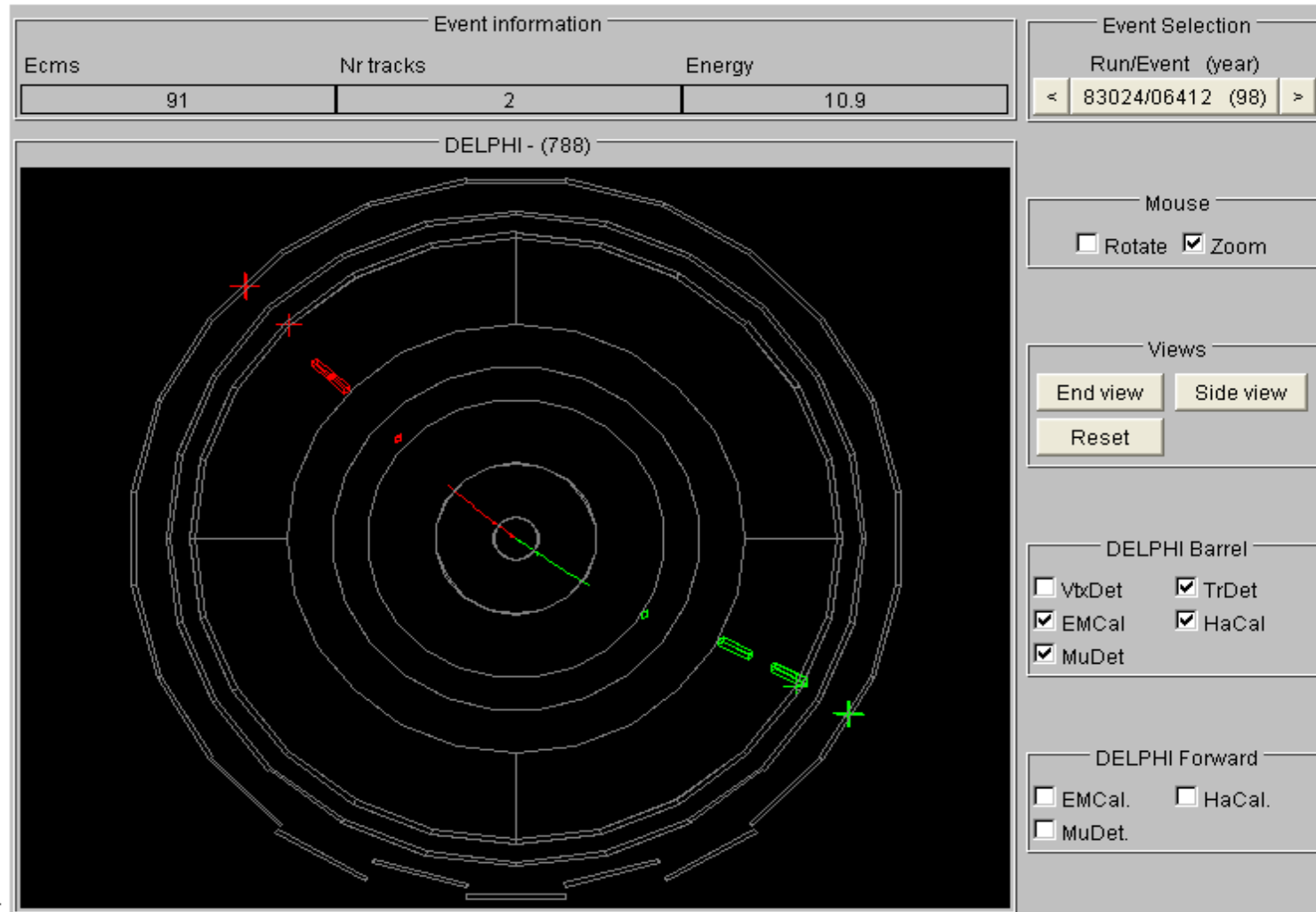
WIRED Development Team, ECP/IPT
Copyright 1996, CERN, Geneva, Switzerland

$$Z_0 \rightarrow e^+ e^-$$



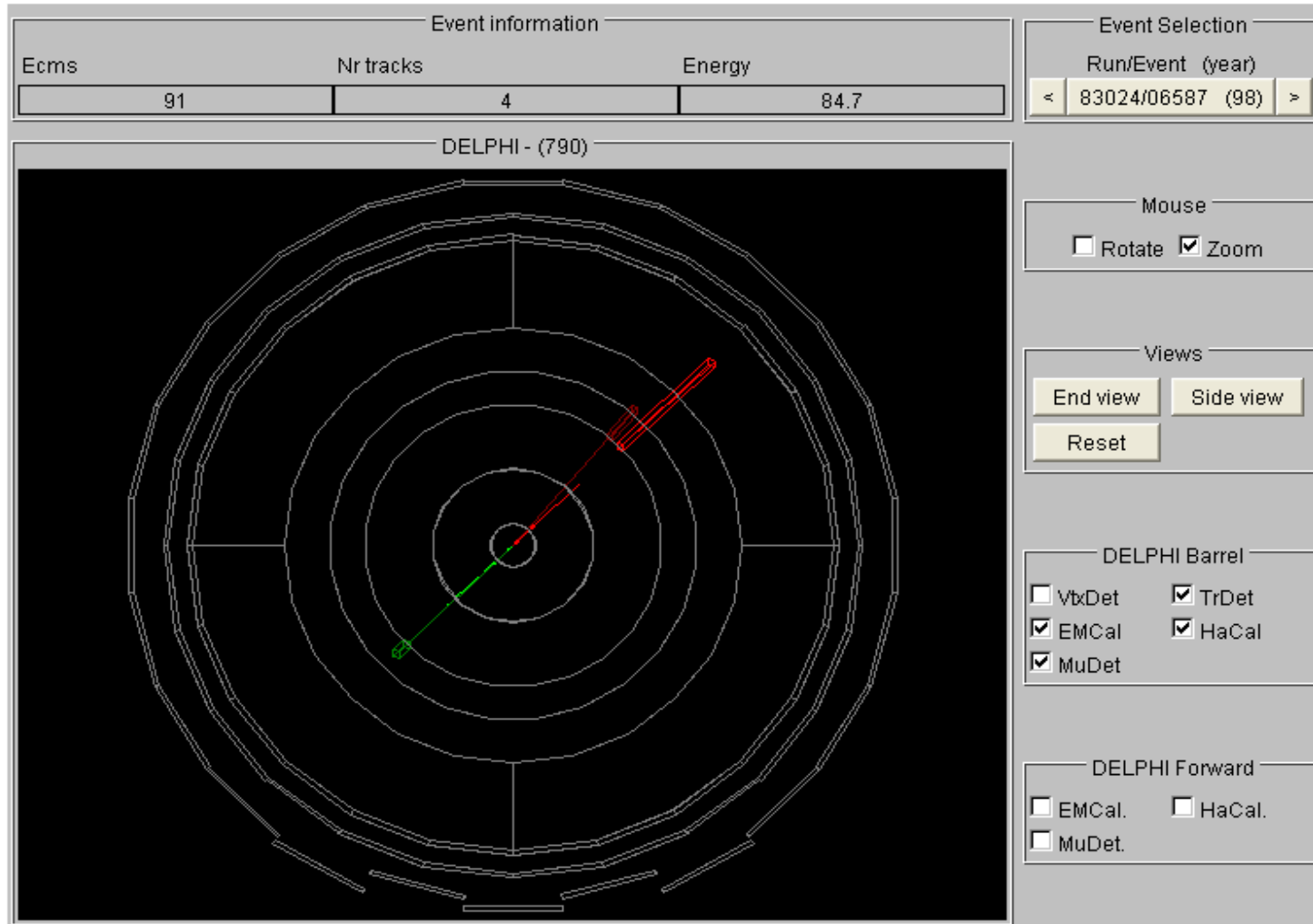
WIRED Development Team, ECP/IPT
Copyright 1996, CERN, Geneva, Switzerland

$$Z_0 \rightarrow \tau^+ \tau^- \rightarrow \mu\mu\nu_\tau\nu_\tau\nu_\mu\nu_\mu$$



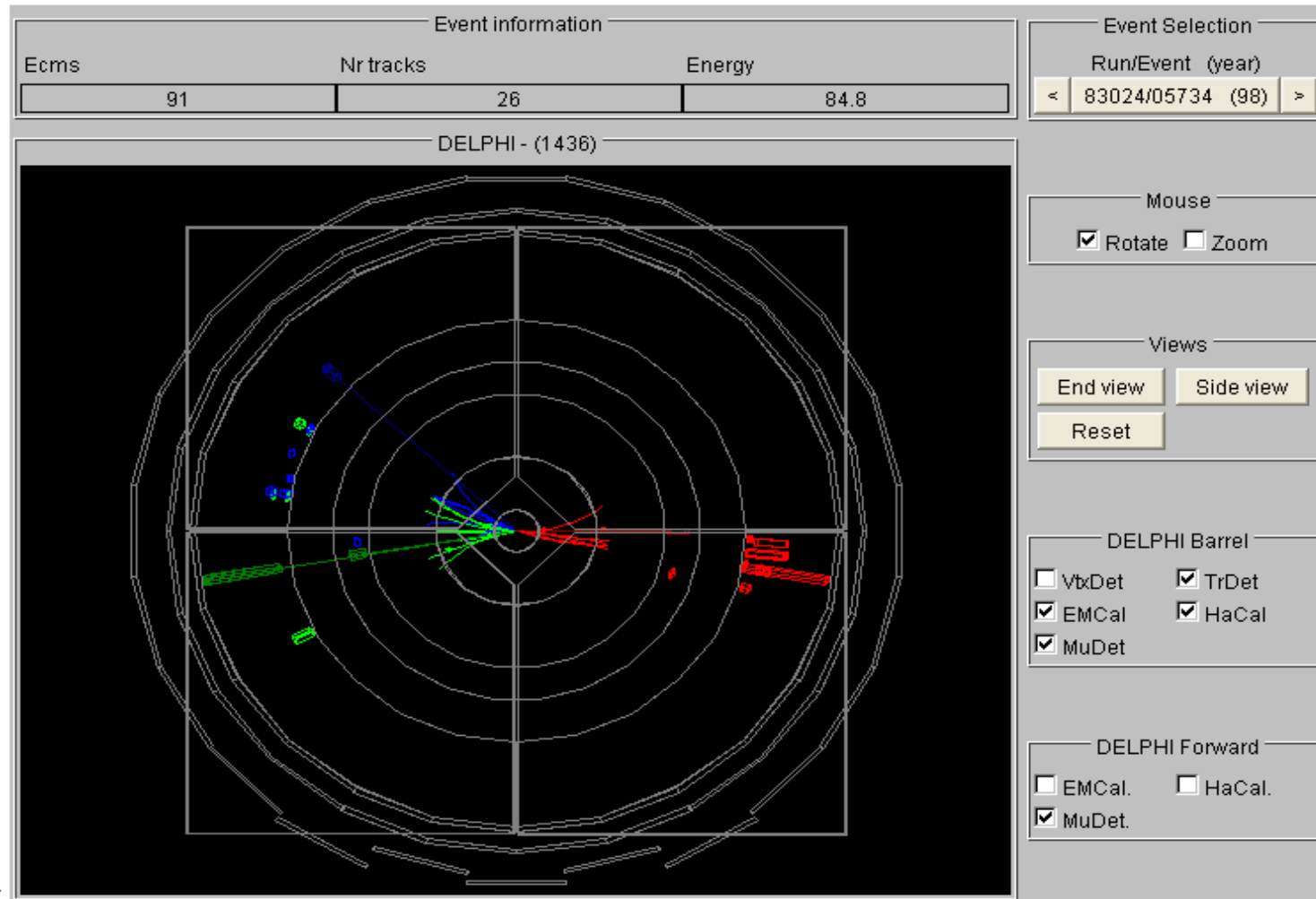
WIRED Development Team, ECP/IPT
 Copyright 1996, CERN, Geneva, Switzerland

$$Z_0 \rightarrow \tau^+ \tau^- \rightarrow e^+ e^- \nu_\tau \nu_\tau \nu_\mu \nu_\mu$$



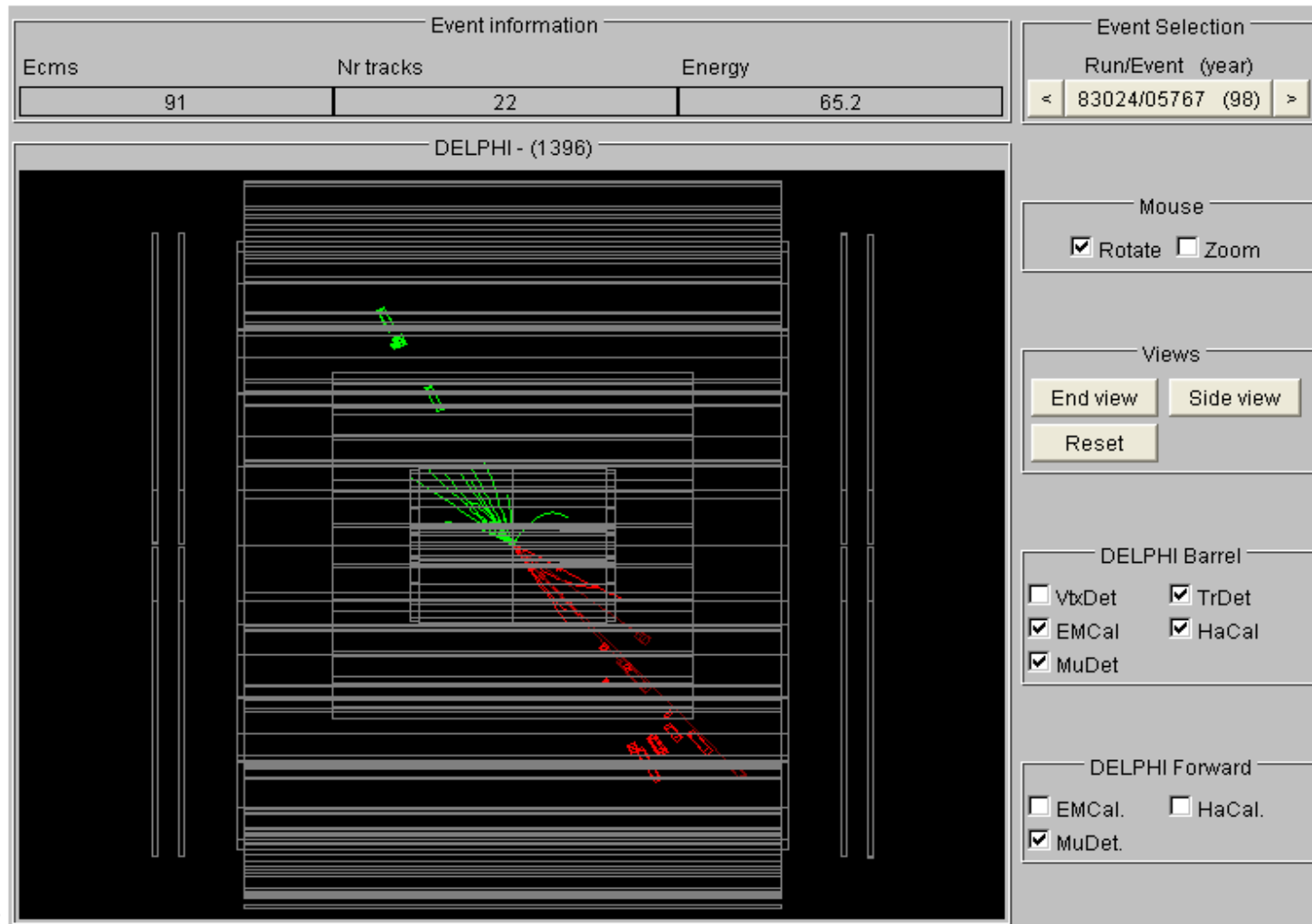
WIRED Development Team, ECP/IPT
 Copyright 1996, CERN, Geneva, Switzerland

$Z^0 \rightarrow qq$



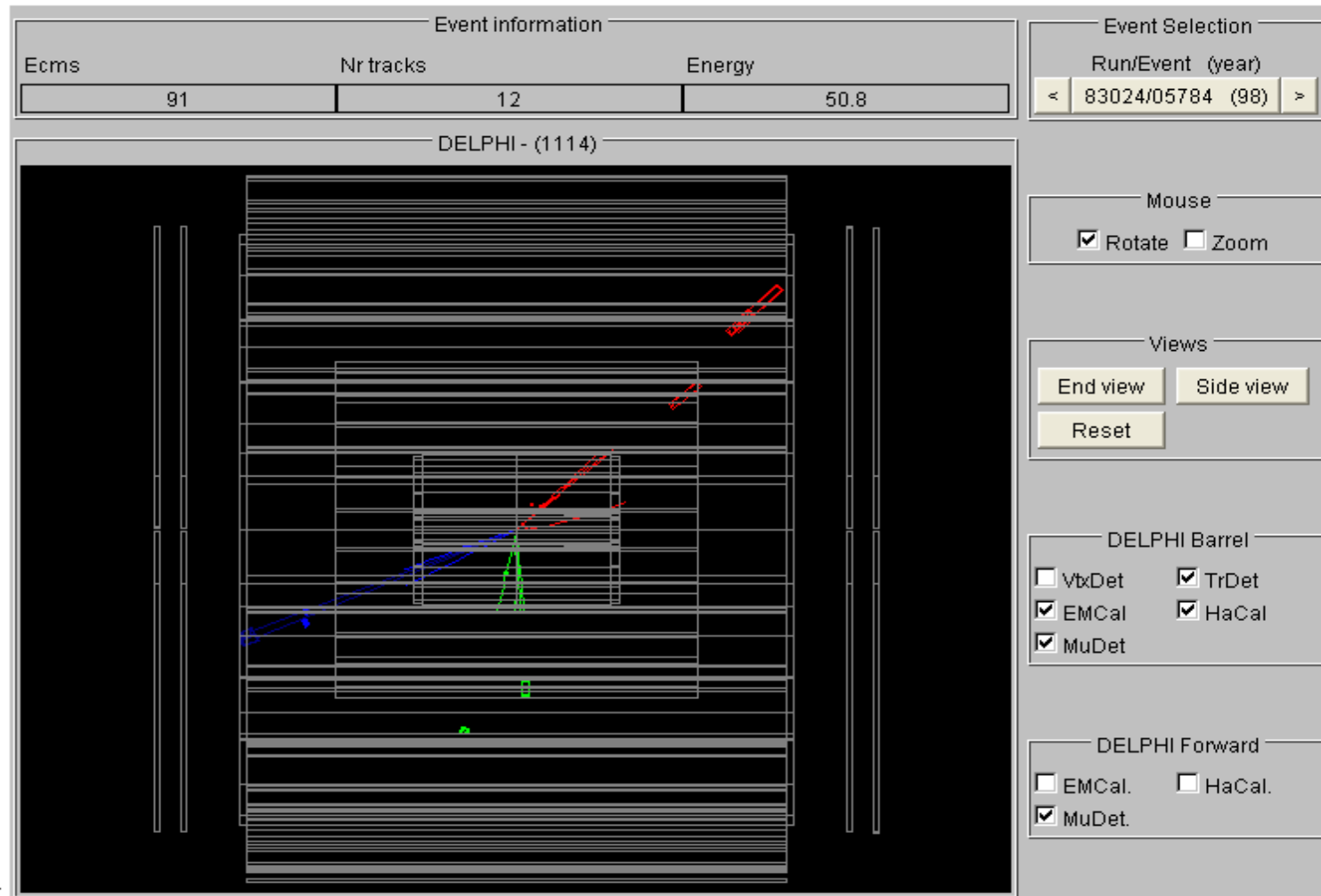
WIRED Development Team, ECP/IPT
Copyright 1996, CERN, Geneva, Switzerland

$Z_0 \rightarrow qq$ (2 jets)



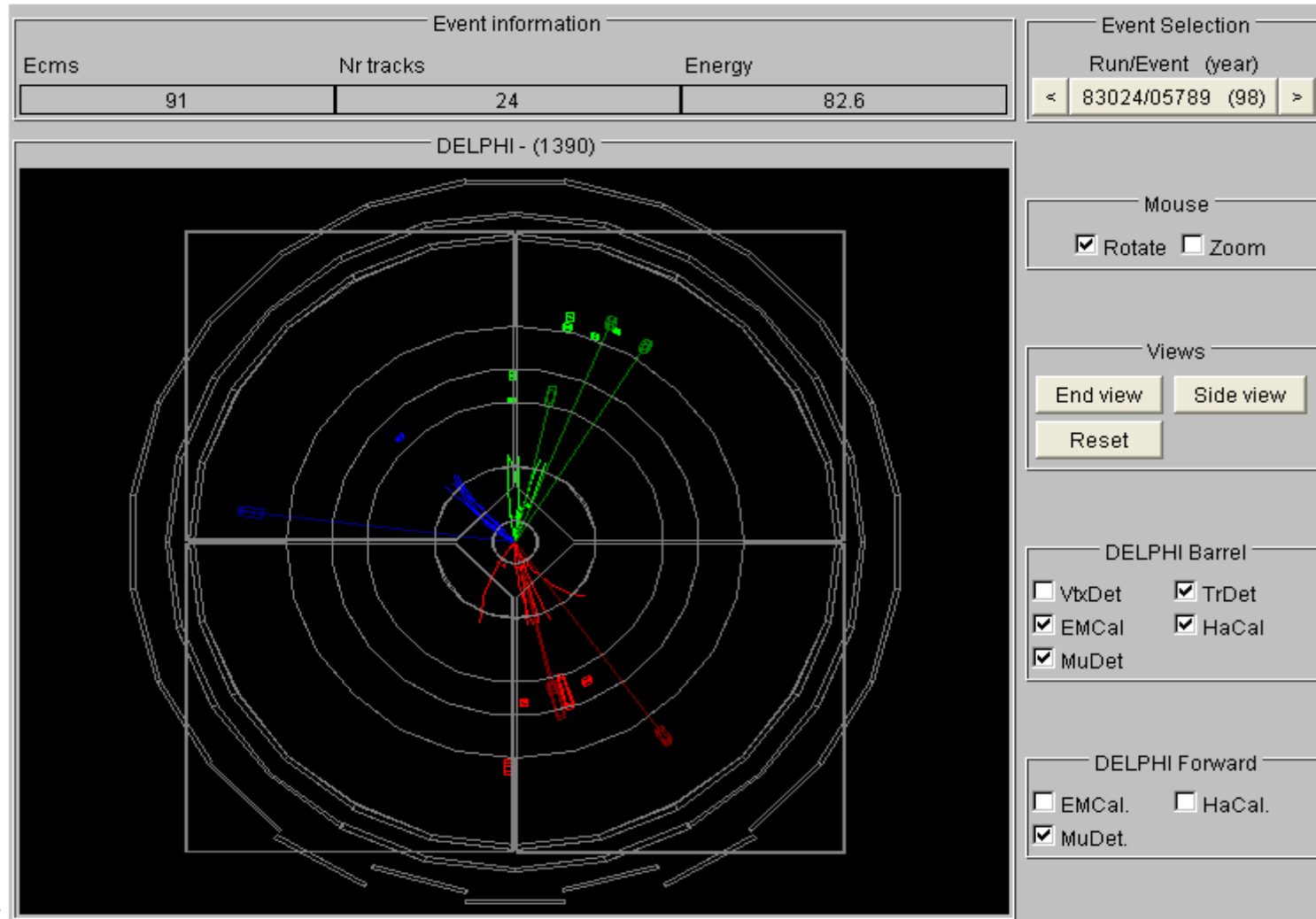
*WIRED Development Team, ECP/IPT
Copyright 1996, CERN, Geneva, Switzerland*

$Z_0 \rightarrow q\bar{q}g$ (3 jets)



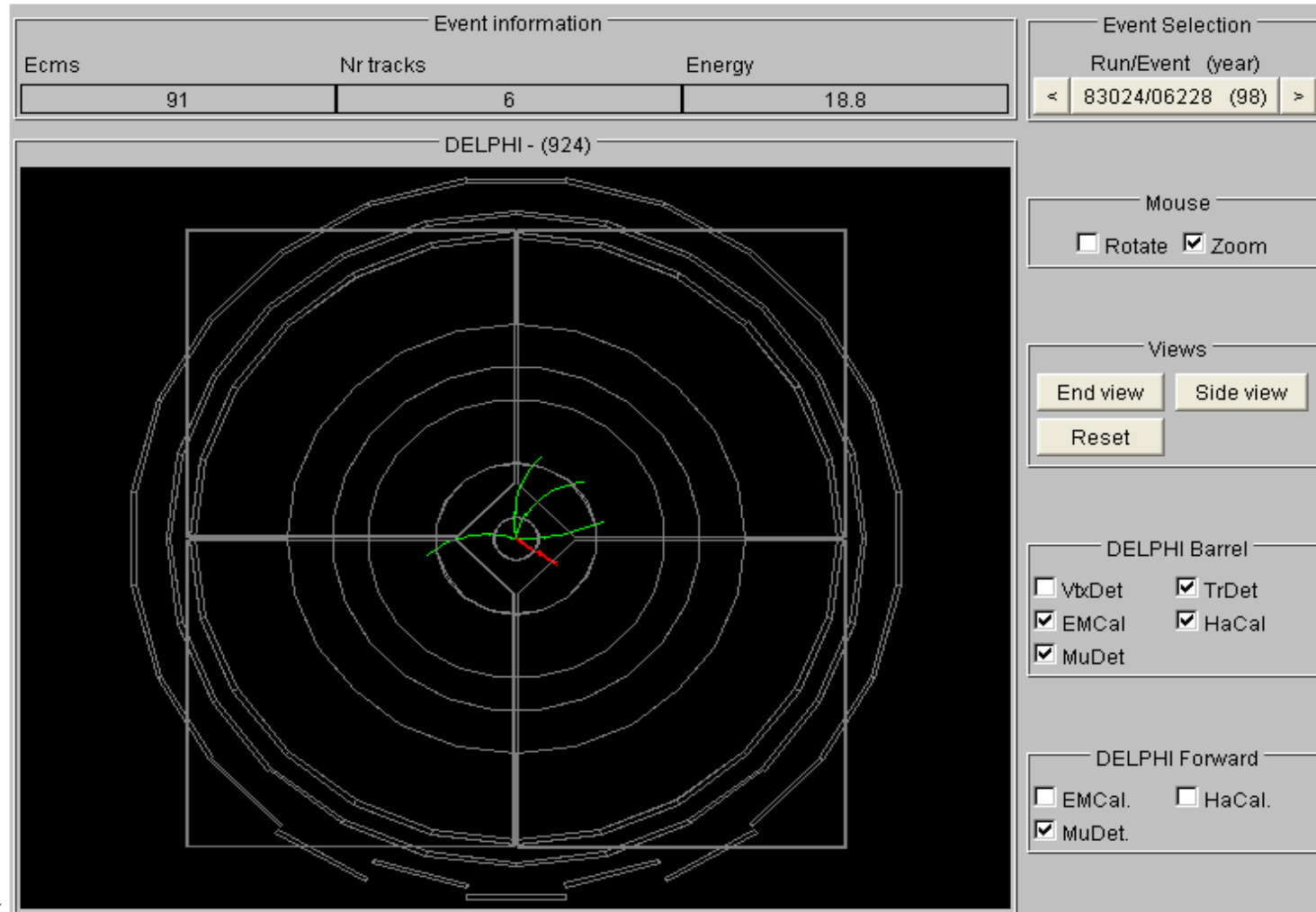
VIREO Development Team, ECP/IPT
Copyright 1996, CERN, Geneva, Switzerland

$Z_0 \rightarrow q\bar{q}g$ (3 jets)



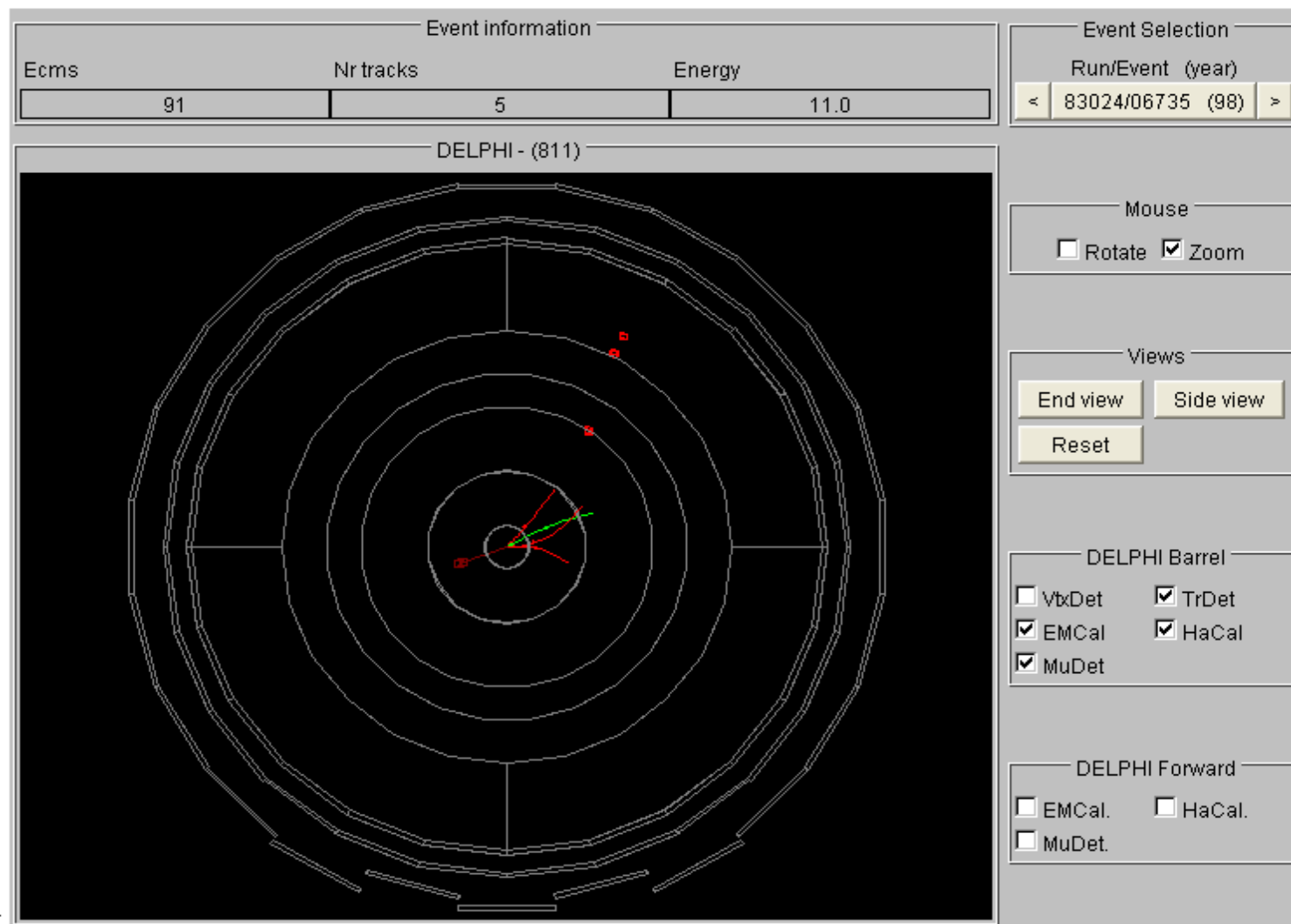
WIRED Development Team, ECP/IPT
Copyright 1996, CERN, Geneva, Switzerland

Etrange $\rightarrow Z_0 \rightarrow \tau^+ \tau^-$



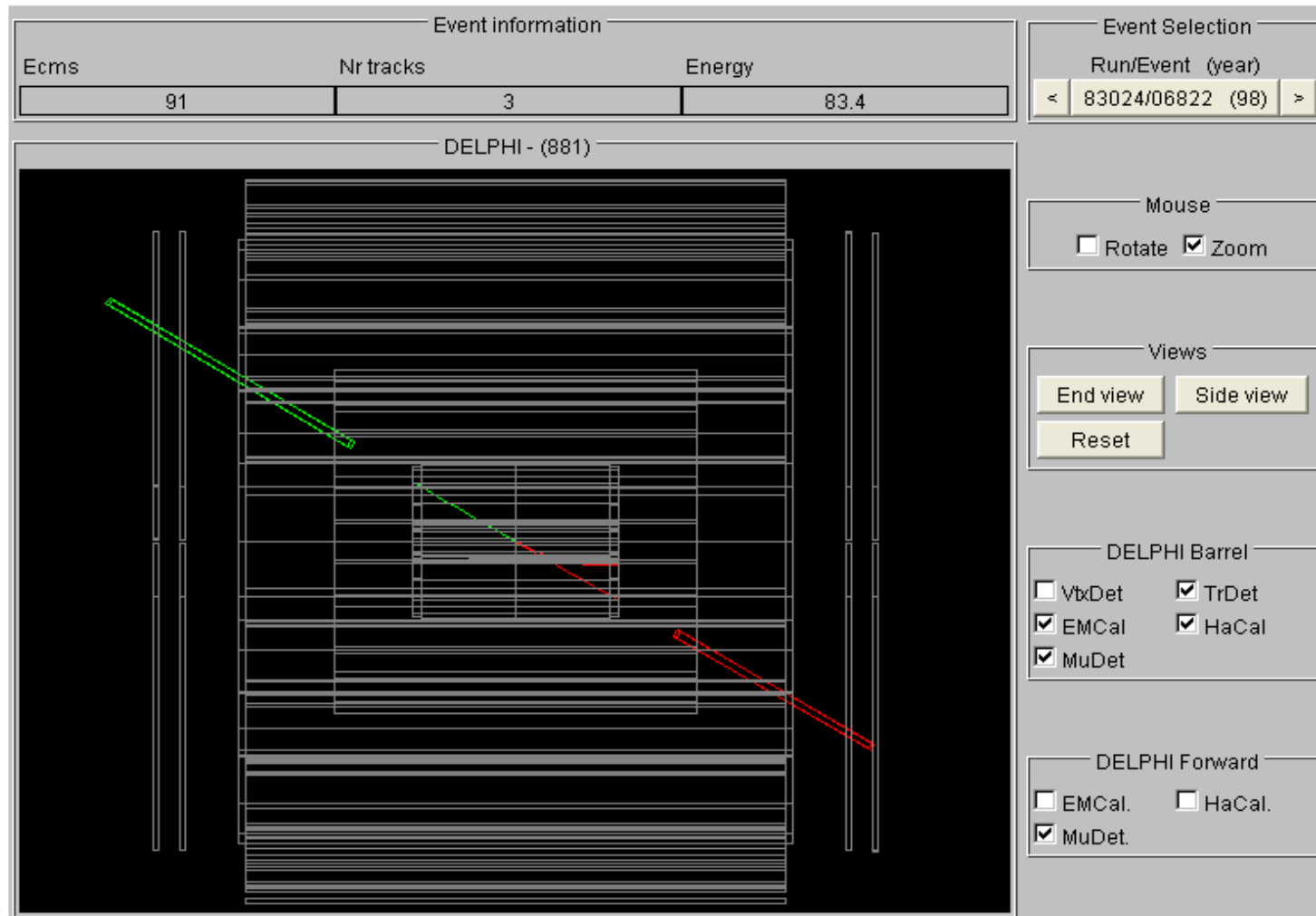
WIRED Development Team, ECP/IPT
Copyright 1996, CERN, Geneva, Switzerland

Etrange $\rightarrow Z_0 \rightarrow \tau^+ \tau^-$

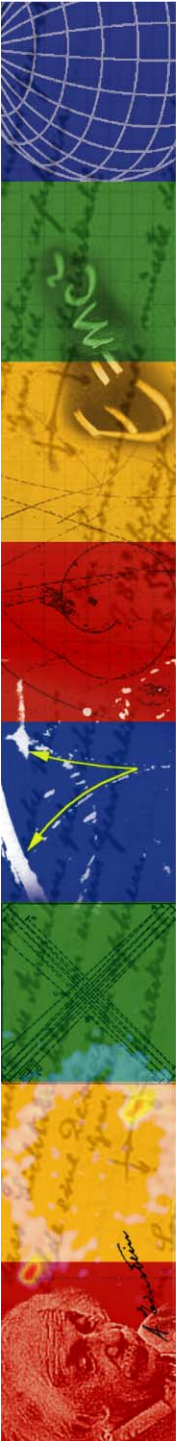


WIRED Development Team, ECP/IPT
Copyright 1996, CERN, Geneva, Switzerland

$$Z_0 \rightarrow \tau^+ \tau^- \rightarrow \mu \mu \nu_\tau \nu_\tau \nu_\mu \nu_\mu \text{ ou } Z_0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$$



WIRBD Development Team, ECP/IPT
 Copyright 1996, CERN, Geneva, Switzerland



Travaux pratiques : Ce que vous, chaque groupe A,B,.. doit remplir !

GROUP A, Events 1-100

Decay	Marks	Total
e^+e^- (Electrons)		
$\mu^+\mu^-$ (Myons)		
$\tau^+\tau^-$ (Tauons)		
$q\bar{q}$ (Hadron-Jets)		

Travaux pratiques : Ce que nous encadrants devons collecter

Group	Electrons	Muons	Taus	Quarks
A (1-100)				
B (101-200)				
C (201-300)				
D (301-400)				
E (401-500)				
F (501-600)				
G (601 -700)				
H (701-800)				
I (801-900)				
J (901-1000)				

Sum all	Sum e	Sum μ	Sum τ	Sum q
0.00	0	0	0	0
<i>Stat. Uncertainty</i>	0.00	0.00	0.00	0.00

Fract. of Visible	e / all	μ / all	τ / all	q / all	q / ((e+ μ + τ)/3)
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
<i>Stat. Uncertainty</i>	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

Theory	0.04212	0.04212	0.04212	0.8736	20.74
---------------	---------	---------	---------	--------	-------

LEP Result	0.04200	0.04204	0.04208	0.8738	20.77
Uncertainty	0.00005	0.00008	0.00010	0.0012	0.03

Les résultats que nous devons obtenir

Group	Electrons	Muons	Taus	Quarks
A(1-50)				
B(51-100)				
C(101-150)				
D(151-200)				
E(201-250)				
F(251-300)				
G(301-350)				
H(351-400)				
I(401-450)				
J(451-500)				
K(501-550)				
L(551-600)				
M(601-650)				
N(651-700)				
O(701-750)				
P(751-800)				
Q(801-850)				
R(851-900)				
S(901-950)				
T(951-1000)				

Sum all	Sum e	Sum μ	Sum τ	Sum q
1000	33	42	40	885
<i>Stat. Uncertainty</i>	5.74	6.48	6.32	29.75

Fract. of Visible	e / all	μ / all	τ / all	q / all	q / ((e+ μ + τ)/3)
	0.033	0.042	0.040	0.885	23.09
<i>Stat. Uncertainty</i>	0.006	0.006	0.006	0.010	2.39

Theory	0.04212	0.04212	0.04212	0.8736	20.74
---------------	---------	---------	---------	--------	-------

LEP Result	0.04200	0.04204	0.04208	0.8738	20.77
Uncertainty	0.00005	0.00008	0.00010	0.0012	0.03

Qu'est qu'une fluctuation statistique

- on compte k événements d'un type donné,
- la valeur théorique prédite est λ ,
- la probabilité de compter k est donnée par la Loi de Poisson :

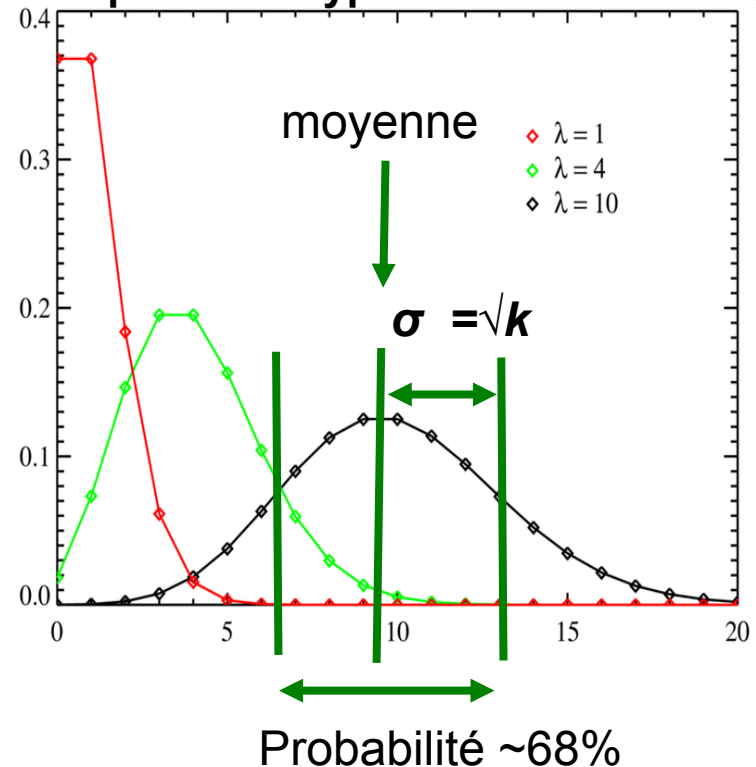
$$p(k) = P(X = k) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!}$$

- la largeur de la distribution par rapport aux voisins est

$$\sqrt{k}$$

- Ecart $\sim 1 \sigma \rightarrow$ OK, normal
- Écart $\sim 2 \sigma \rightarrow$ attention, mais on ne peut rien dire,
- Écart $\sim 3 \sigma \rightarrow$ très curieux
- Ecart à $5 \sigma \rightarrow$ découverte !!!

Distribution du nombre d'événements comptés d'un type donné



Comparaison des résultats entre différents pays fait par le CERN en video conférence

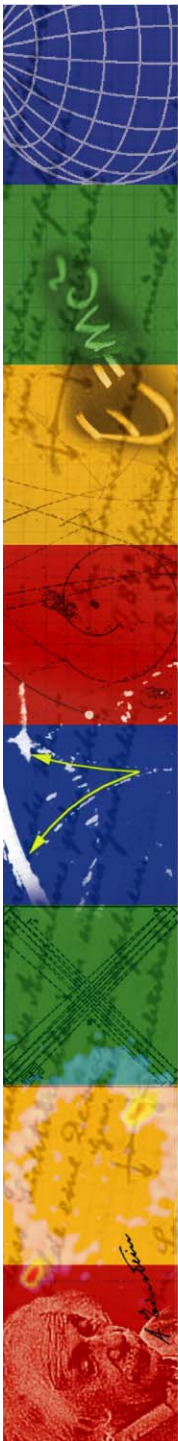
Town (COUNTRY)	0: DELPHI 1: OPAL	Electrons	Myons	Taus	Quarks	
Athens (GR)	1	30	40	30	900	
Berlin (DE)	1	30	45	45	880	
Bruxelles (BE)	0	40	50	40	870	
Budapest (HU)	0	50	40	50	860	
Catania(IT)	0	30	40	50	880	
Ioannina(GR)	1	20	30	40	910	
xx(YY)						
Sum (corr)		e 248	μ 245	τ 255	q 5300	all 6048
Stat. Uncertainty		27	27	28	126	

enable institutes	institute s
1	1
1	1
1	0
1	0
1	0
1	1
0	0
6	3

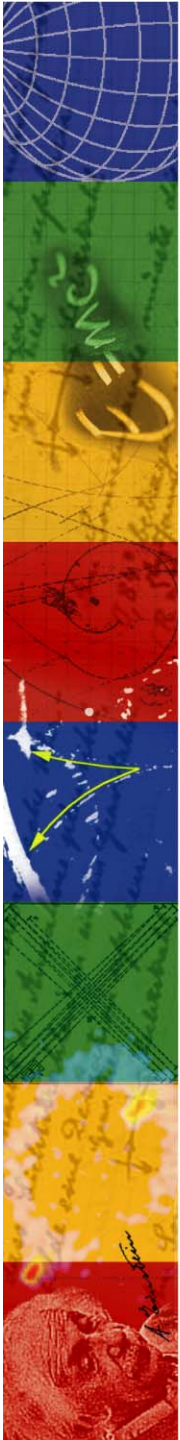
Fract. of Visible		e / all	μ / all	τ / all	q / all	q / ((e+μ+τ)/3)
Athens (GR)	1	0.047	0.039	0.029	0.884	22.9
Berlin (DE)	1	0.047	0.044	0.044	0.864	19.1
Bruxelles (BE)	0	0.040	0.050	0.040	0.870	20.1
Budapest (HU)	0	0.050	0.040	0.050	0.860	18.4
Catania(IT)	0	0.030	0.040	0.050	0.880	22.0
Ioannina(GR)	1	0.032	0.030	0.040	0.899	26.8
xx(YY)	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0
DELPHI		0.040	0.043	0.047	0.870	20.1
<i>Statistical Uncertainty ±</i>		0.006	0.006	0.007	0.011	2.0
<i>Systematic Uncertainty ±</i>		0.008	0.005	0.005	0.008	1.9

Attention
Aux
événements τ+τ-

A vous de jouer

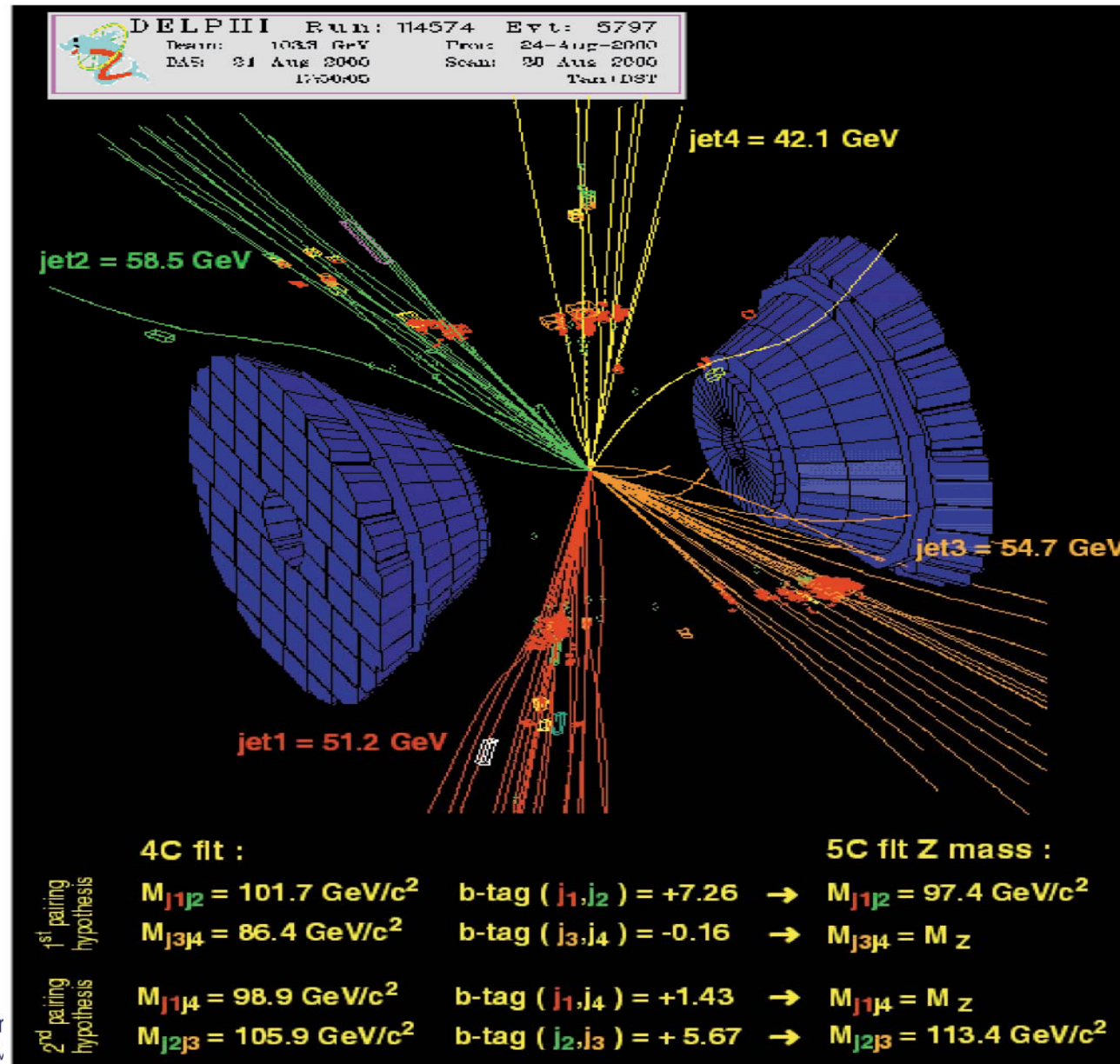


"Hands on Particle Physics"
International Masterclasses

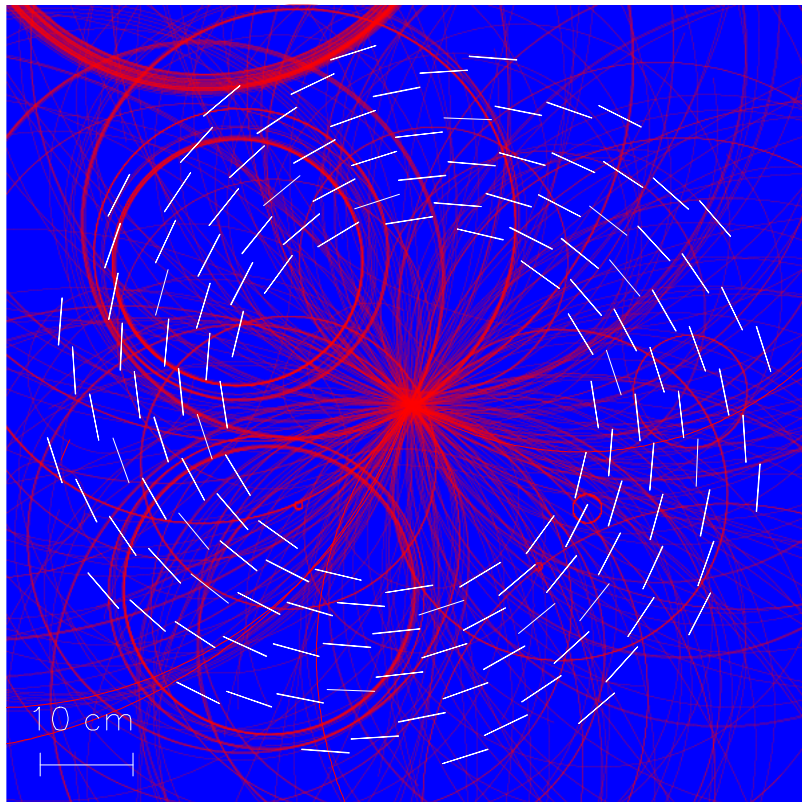


Bonus

Le Higgs tel qu'il aurait pu être découvert dans DELPHI



Recherche d'un Boson de Higgs au LHC dans le détecteur de trace



Find 4 straight tracks.

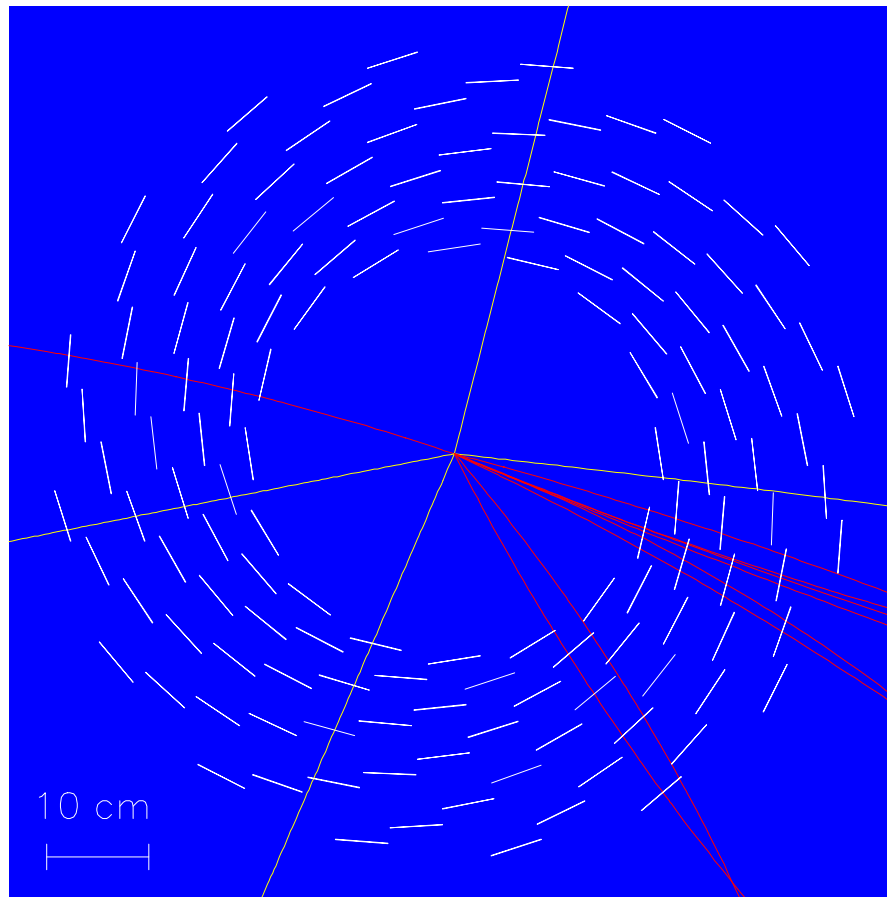
$$H^0 \rightarrow \mu^+ + \mu^- + \mu^+ + \mu^-$$

18 interactions pp
enregistrées simultanément
avec une interaction
intéressante dans laquelle
un Higgs se désintégrant en 4
muons énergétiques
sont émis

Où sont les 4 muons?

Recherche d'un Boson de Higgs au LHC dans le détecteur de trace

$H \rightarrow \mu\mu\mu\mu$



- **Après suppression des traces**
- **avec $p < 2 \text{ Gev}$**
- **On distingue les 4 muons en jaune**

Recherche d'un Boson de Higgs au LHC dans le détecteur de trace $H \rightarrow \mu\mu\mu\mu$

