

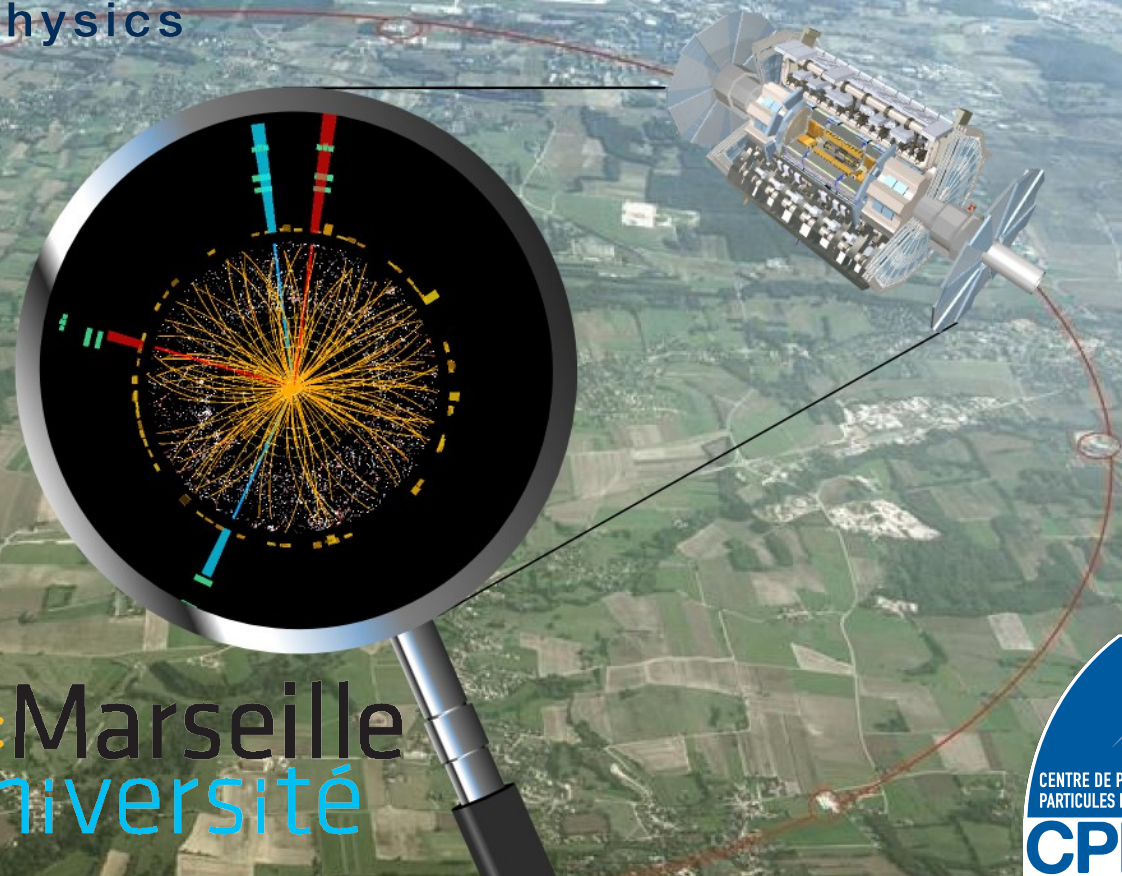
# Détecter des particules « pour de vrai » avec ATLAS

INTERNATIONAL  
**MASTERCLASSES**

hands on particle physics

Centre de physique des  
particules de Marseille

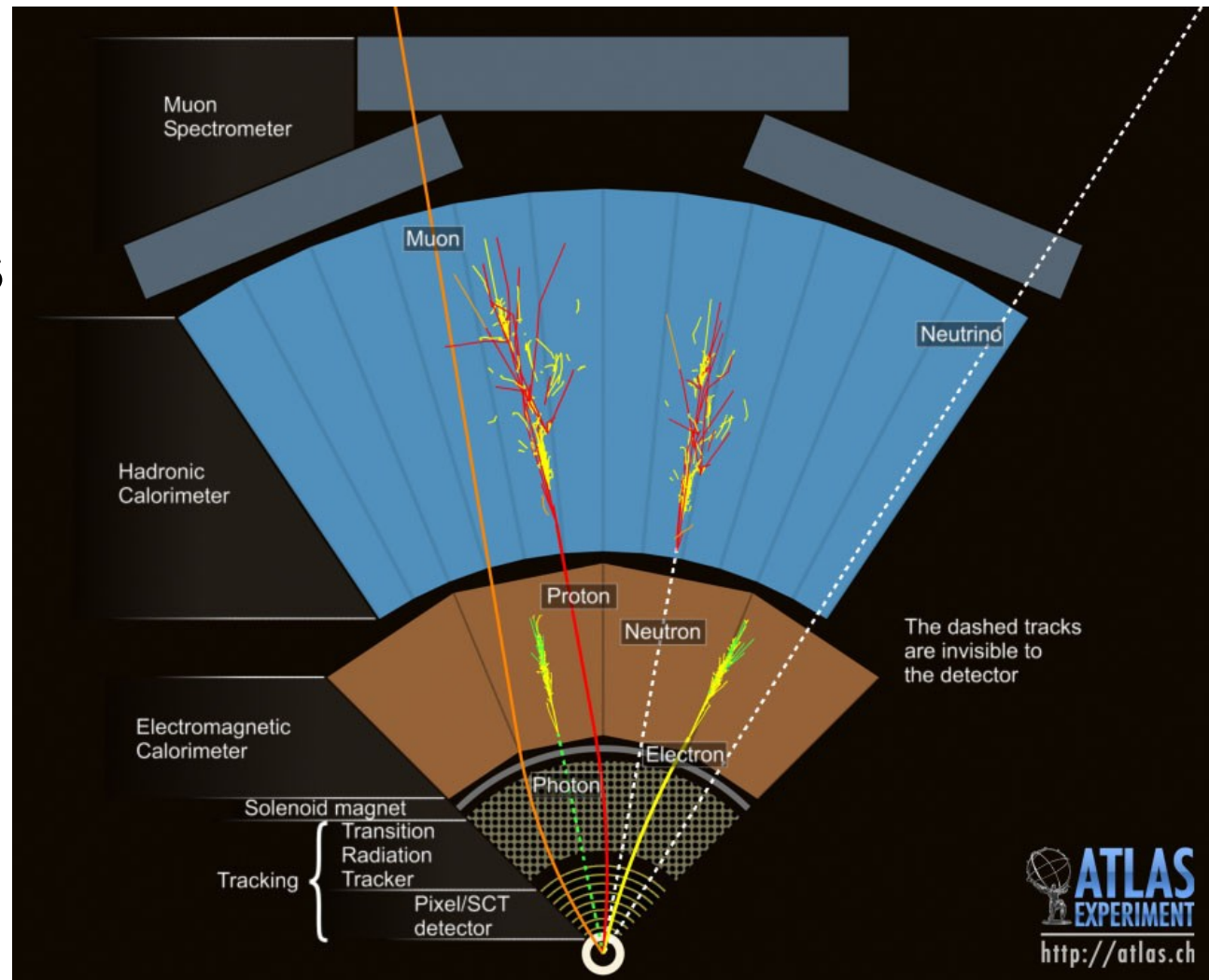
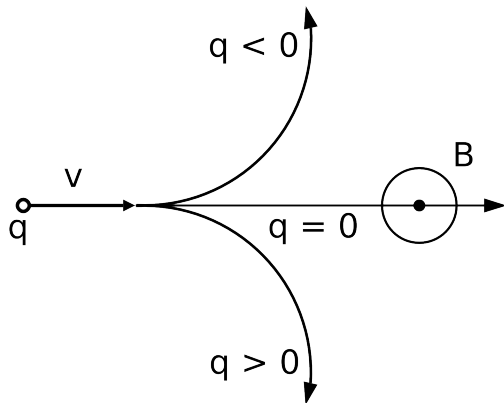
Février-mars 2016



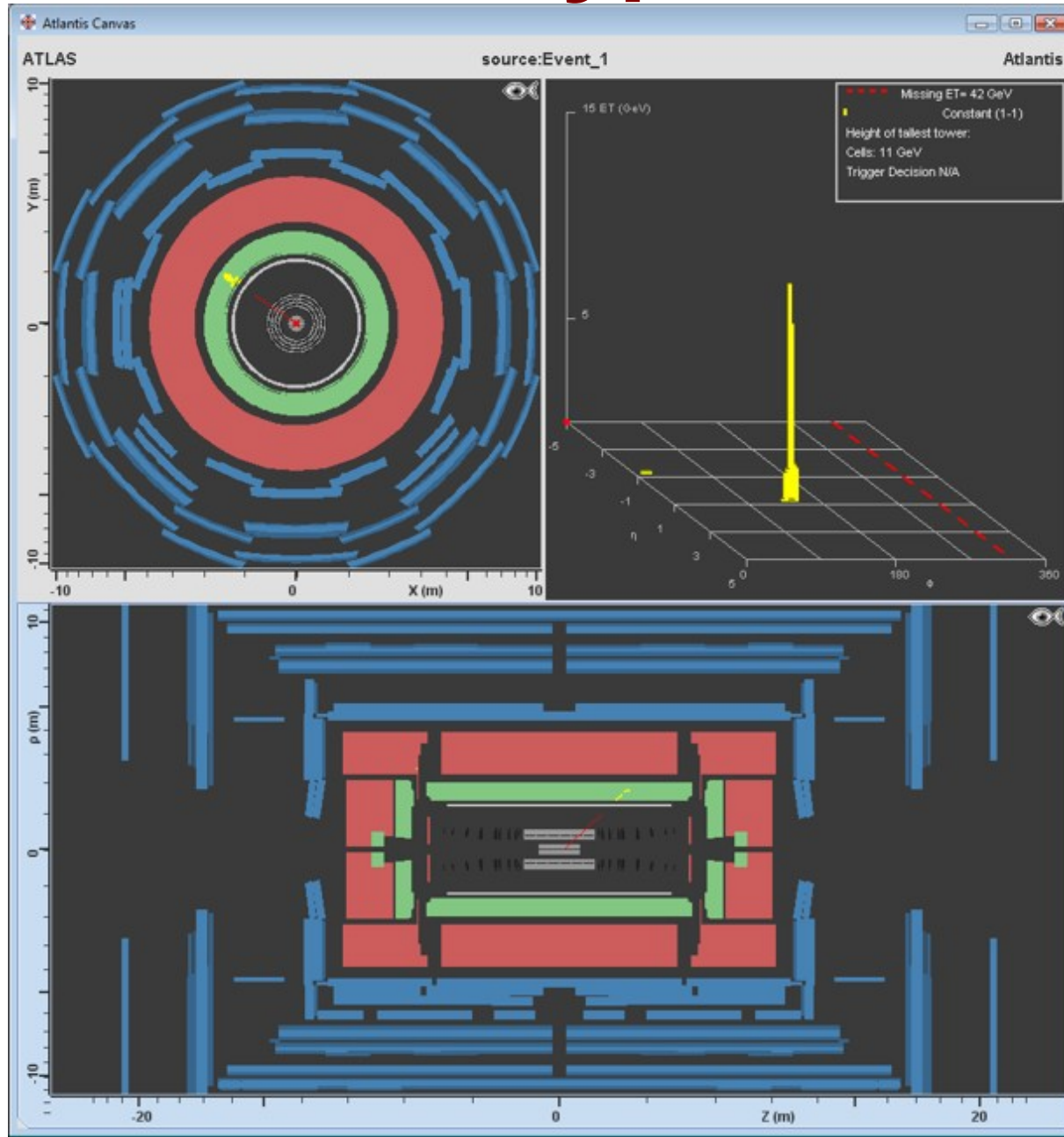


# Identifier les électrons/positrons et photons

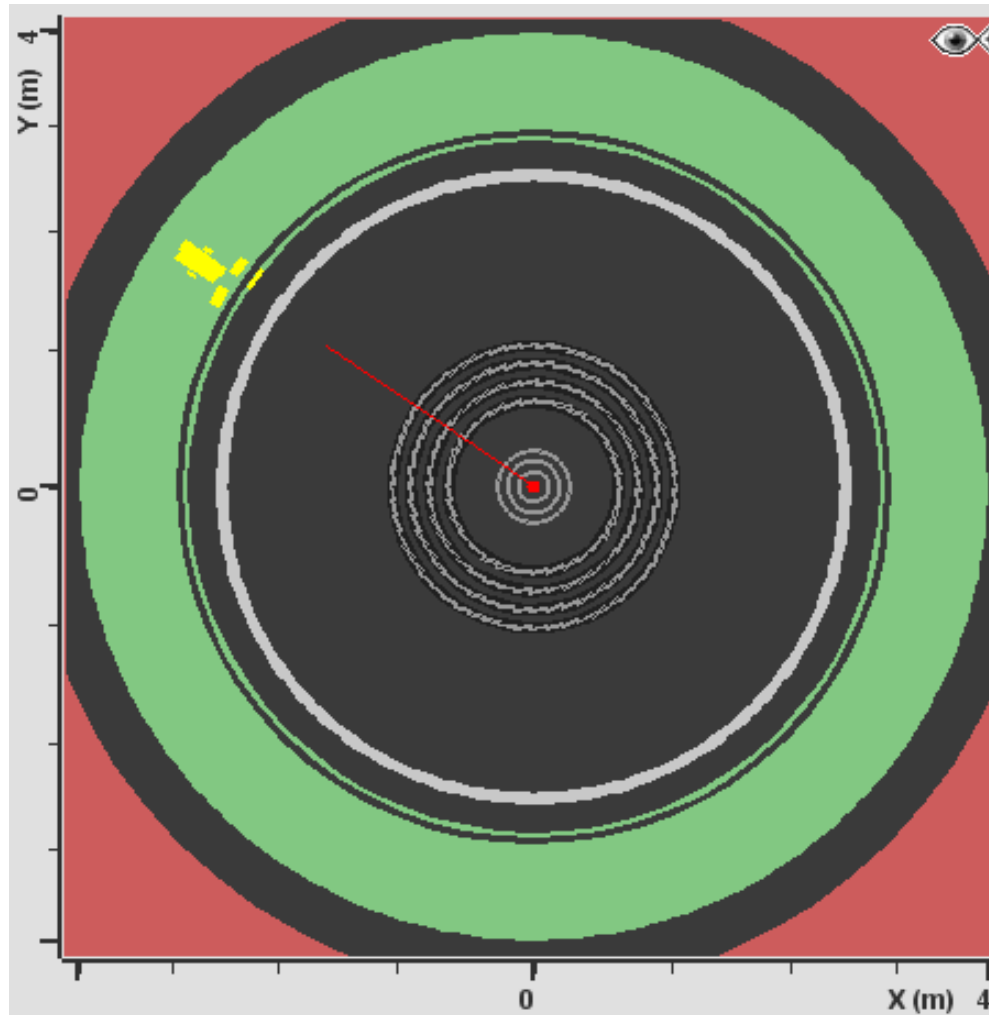
- Gerbe dans le calorimètre EM
- $e^+/e^-$  : particule chargée, trace dans le trajectographe
- Courbure de la trace  $\rightarrow$  signe de la charge électrique



# Identifier les électrons/positrons avec Hypatia

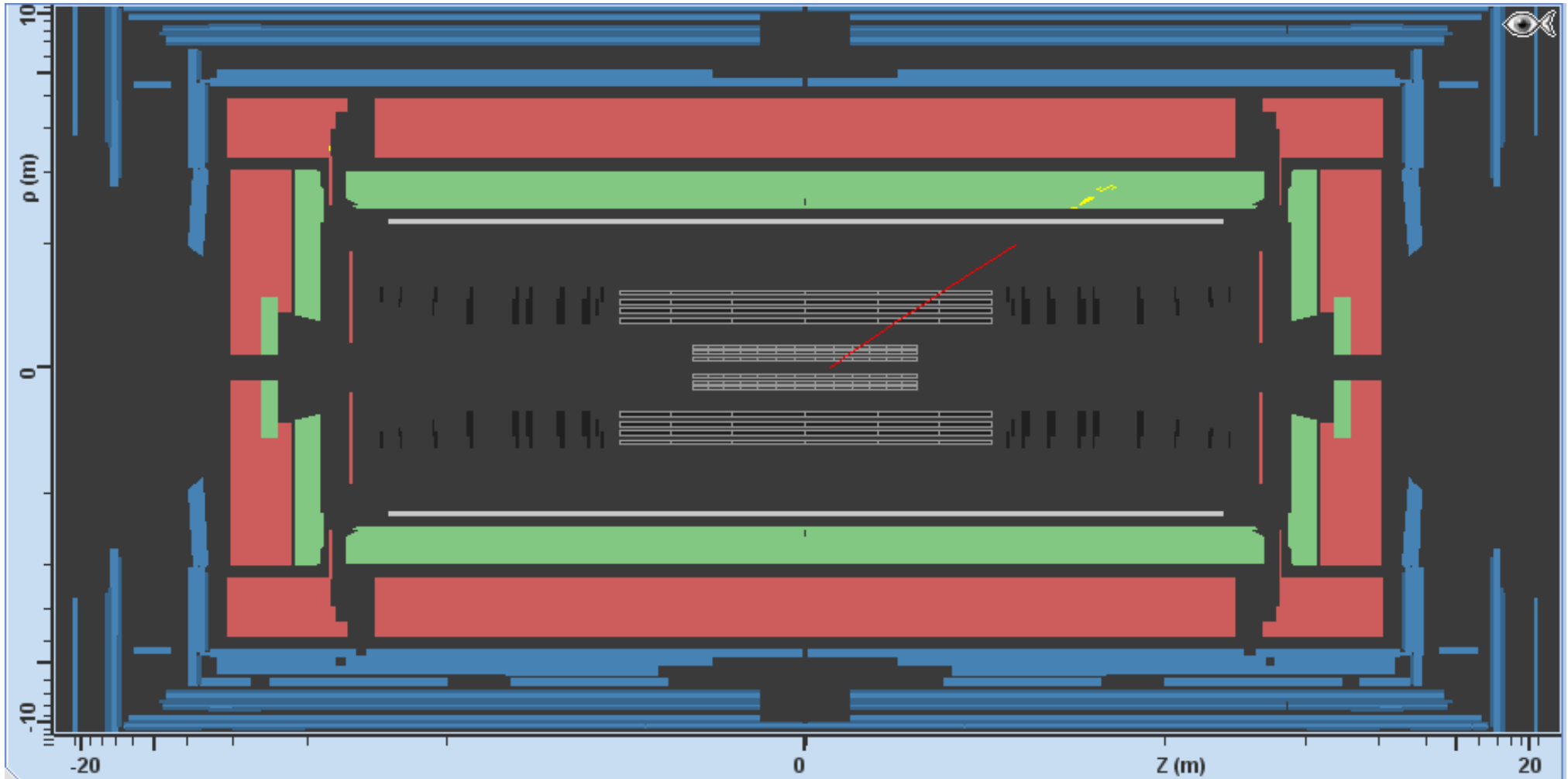


# Identifier les électrons/positrons avec Hypatia



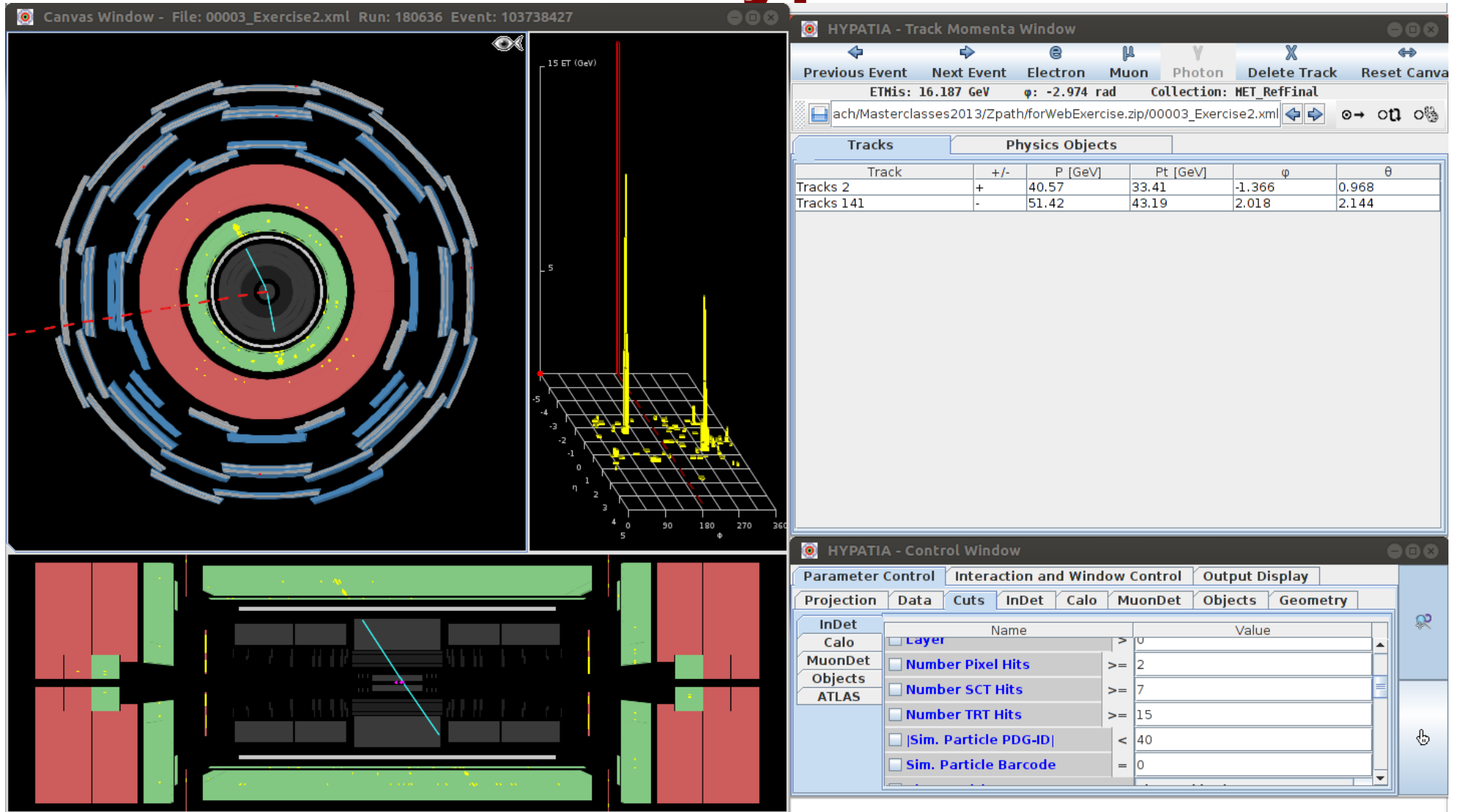
- Trace dans le trajectographe
- Énergie dans le calorimètre

# Identifier les électrons/positrons avec Hypatia



- Trace dans le trajectographe
- Énergie dans le calorimètre

# Identifier les électrons/positrons avec Hypatia



- Choisir la main et cliquer sur la trace
- La ligne correspondante est surlignée en haut à droite<sub>6</sub>

# Identifier les électrons/positrons avec Hypatia

The screenshot displays the Hypatia software interface, which is used for particle physics data analysis. It consists of several windows:

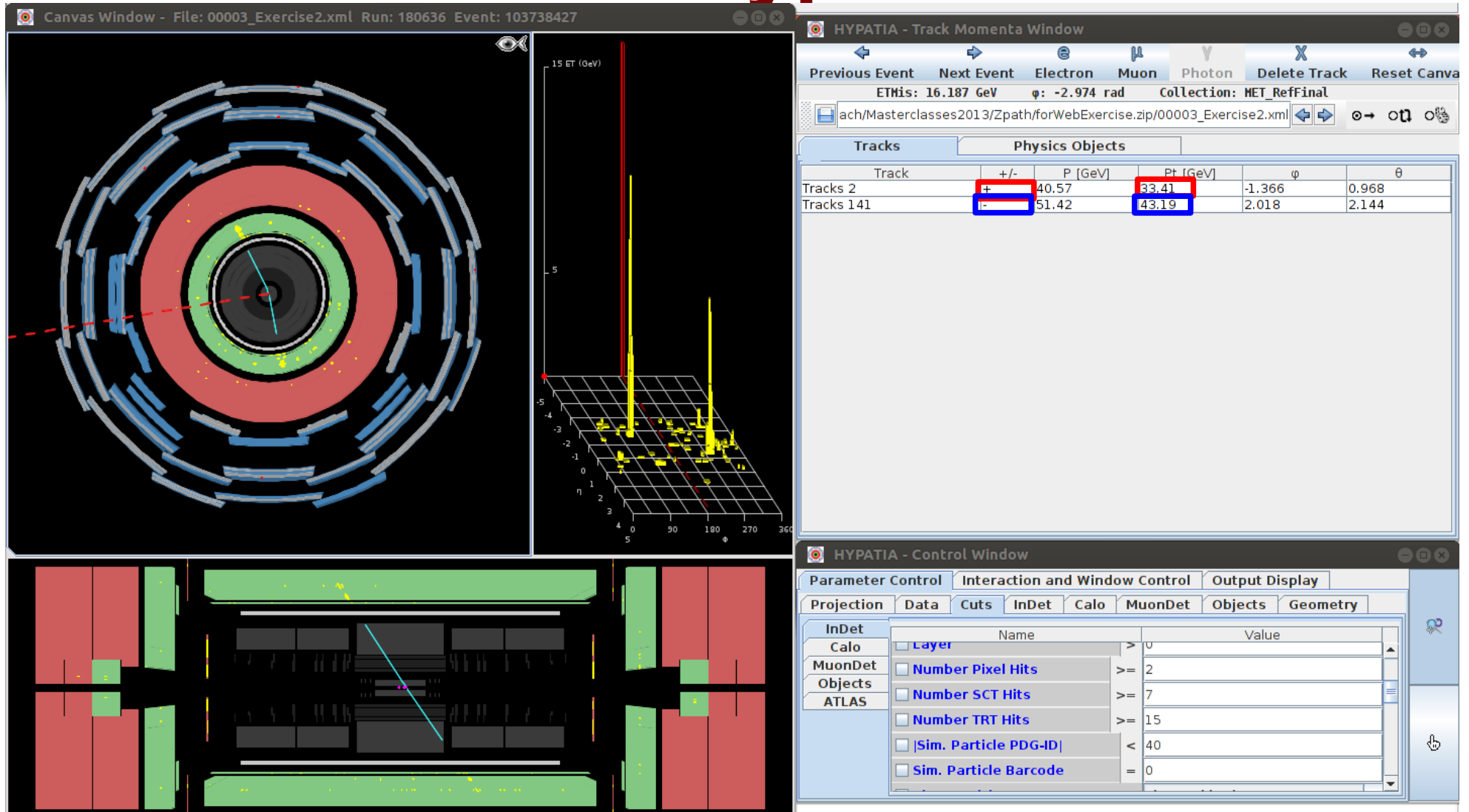
- Canvas Window:** Shows a top-down view of the ATLAS detector with particle tracks overlaid. A red dashed line indicates a track of interest.
- HYPATIA - Track Momenta Window:** Displays a table of track parameters. The table is as follows:

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	$\phi$	$\theta$
Tracks 2	+	40.57	33.41	-1.366	0.968
Tracks 141	-	51.42	43.19	2.018	2.144
- HYPATIA - Control Window:** Contains various control panels. The 'InDet' panel is active, showing a list of detector components and their values. A red circle highlights a mouse cursor icon in the bottom right corner of this window.

- Choisir la main et cliquer sur la trace
- La ligne correspondante est surlignée en haut à droite,



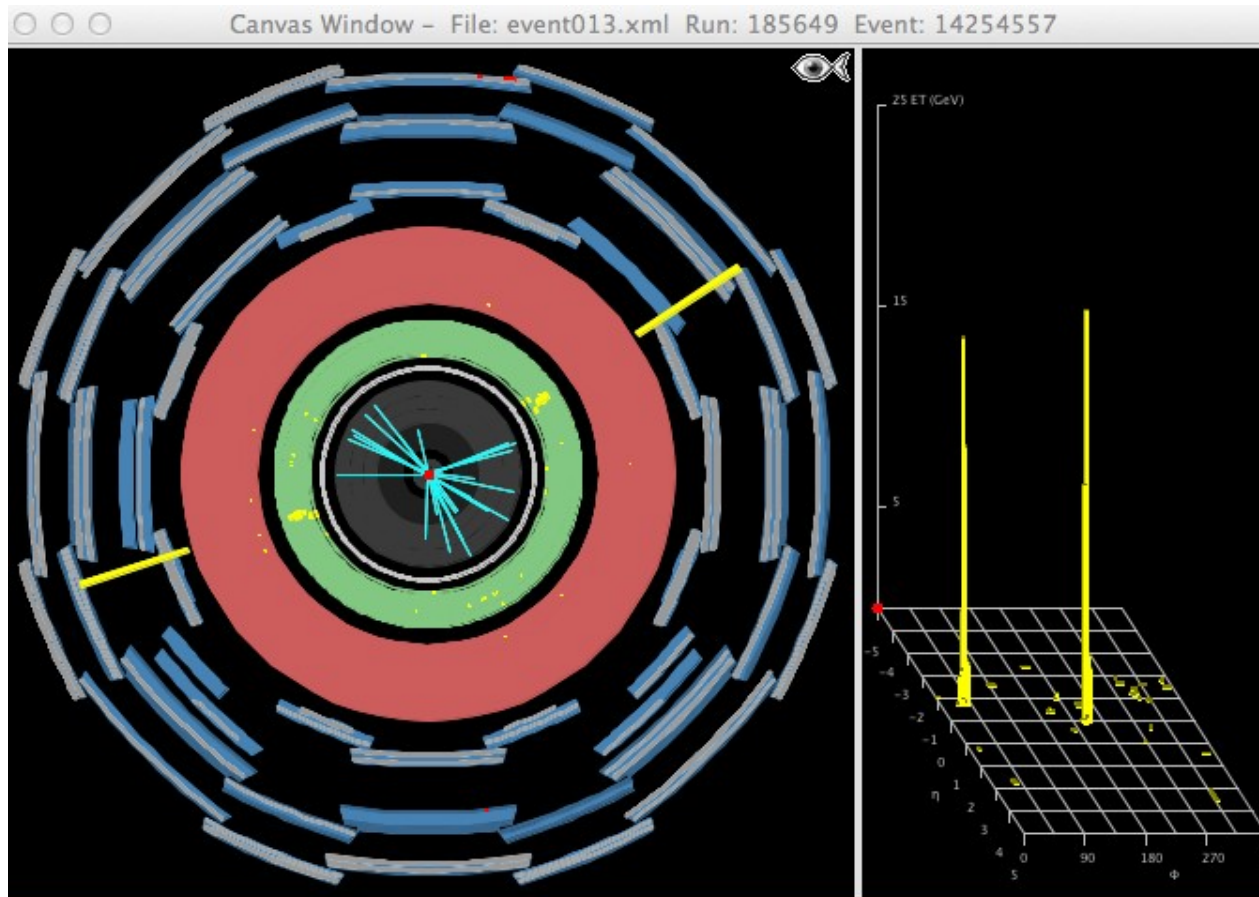
# Identifier les électrons/positrons avec Hypatia



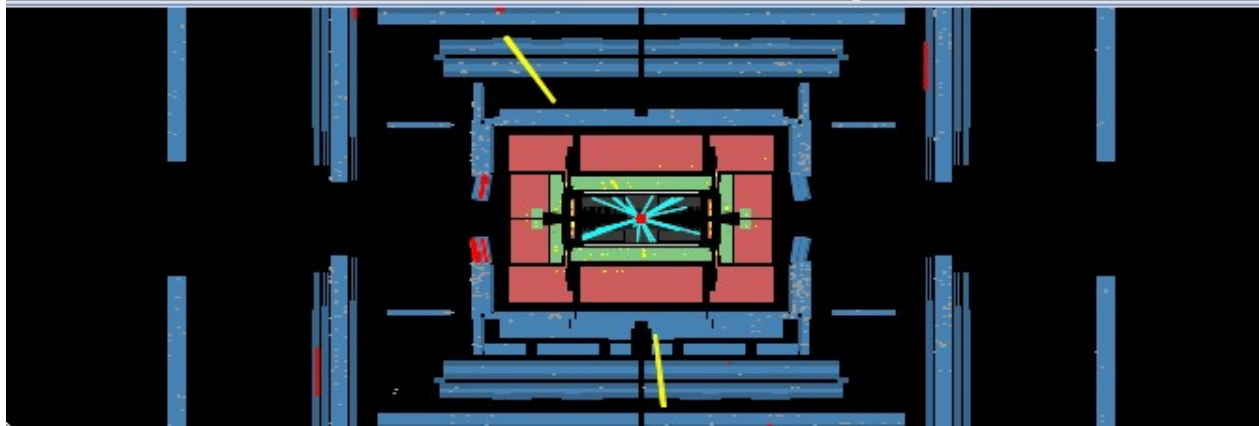
- Pt = impulsion transverse
- Ici charge **négative** → électron, **positive** → positron



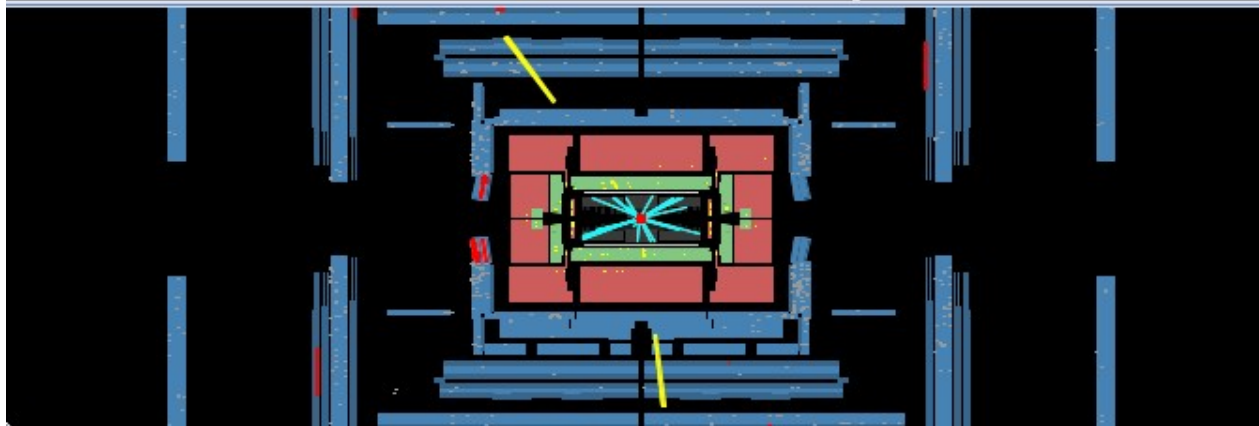
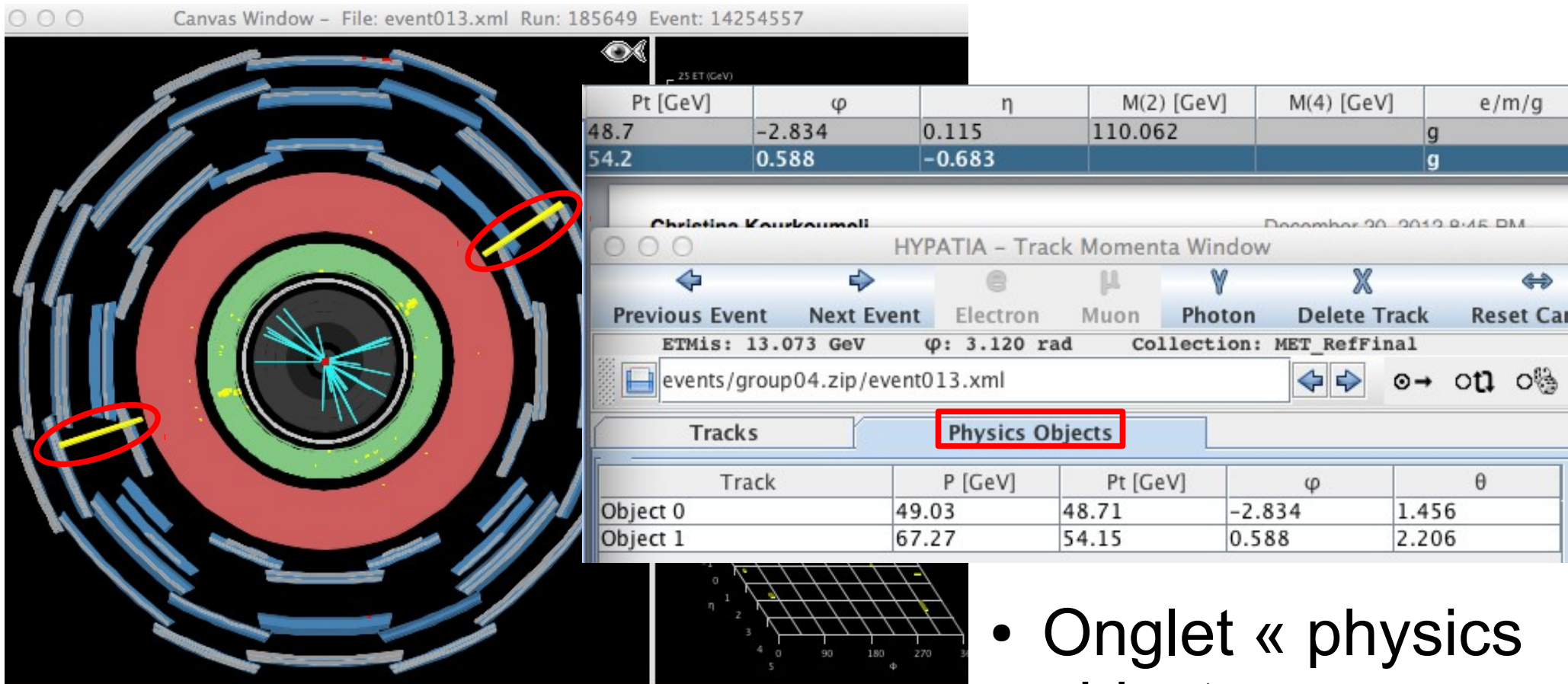
# Identifier les photons avec Hypatia



- Ressemble à un électron
- Pas de trace dans le trajectographe
- Énergie dans le calorimètre

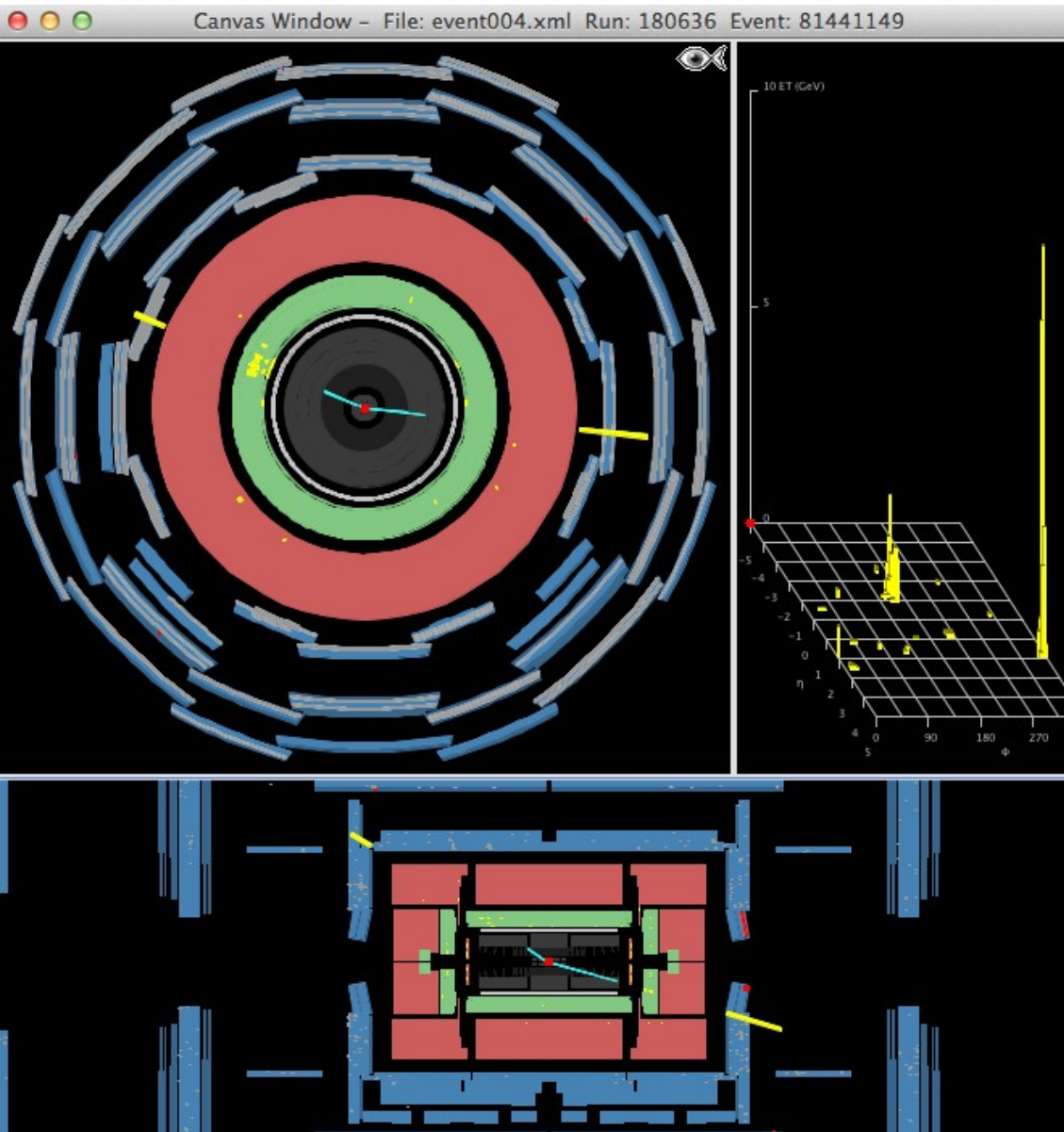


# Identifier les photons avec Hypatia



- Onglet « physics objects »
- Énergie dans le calorimètre
- Facile...

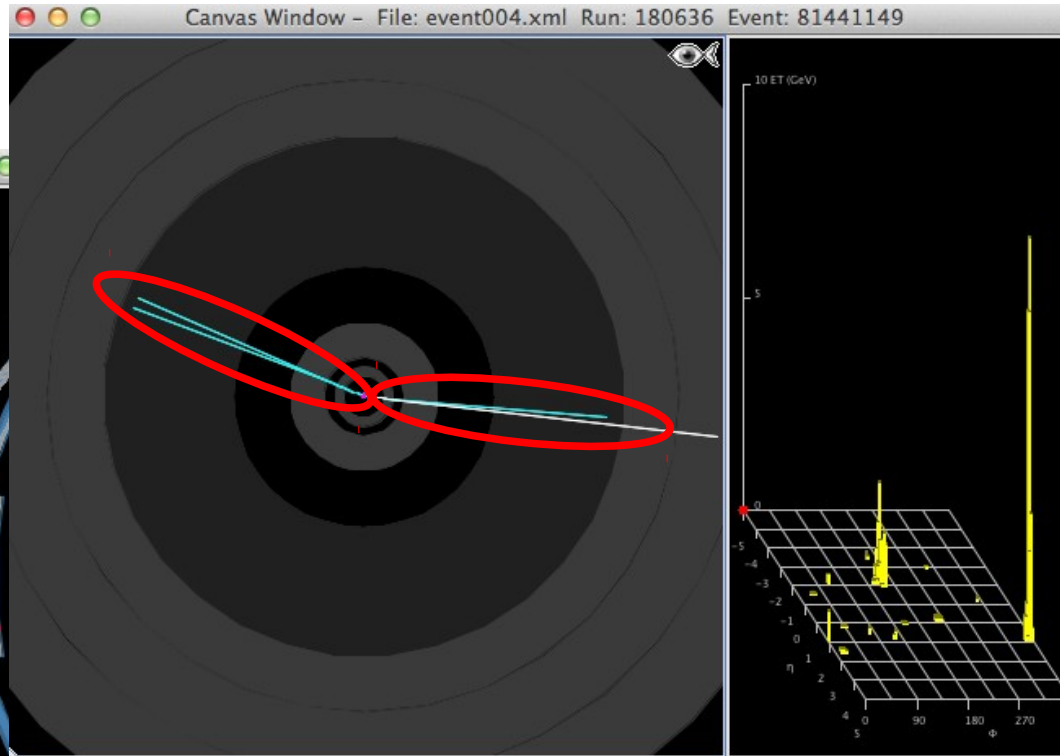
# Identifier les photons avec Hypatia



- Le piège : les photons peuvent être « convertis » :  
 $\gamma \rightarrow e^+e^-$
- Présence de traces...
- Il faut zoomer pour comprendre



# Identifier les photons avec Hypatia



Pt [GeV]	$\phi$	$\eta$	M(2) [GeV]	M(4) [GeV]	e/m/g
31.5	-0.097	1.941	0.087	134.282	e
8.1	-0.103	1.941			e
5.3	2.762	-1.210	0.097		e
12.7	2.750	-1.209			e

HYPATIA - Track Momenta Window

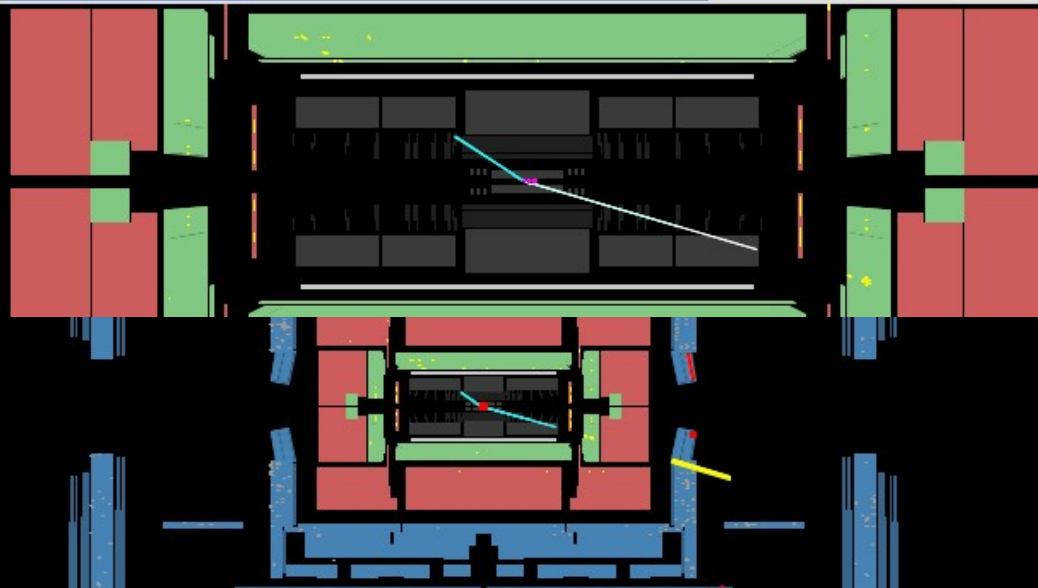
Previous Event Next Event Electron Muon Photon Delete Track Reset Can

ETMis: 13.100 GeV  $\phi$ : 2.678 rad Collection: MET\_Reffinal

events/group04.zip/event004.xml

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	$\phi$	$\theta$
Tracks 0	+	111.98	31.51	-0.097	0.285
Tracks 1	-	28.94	8.14	-0.103	0.285
Tracks 36	+	9.59	5.25	2.762	2.562
Tracks 38	-	23.21	12.72	2.750	2.562

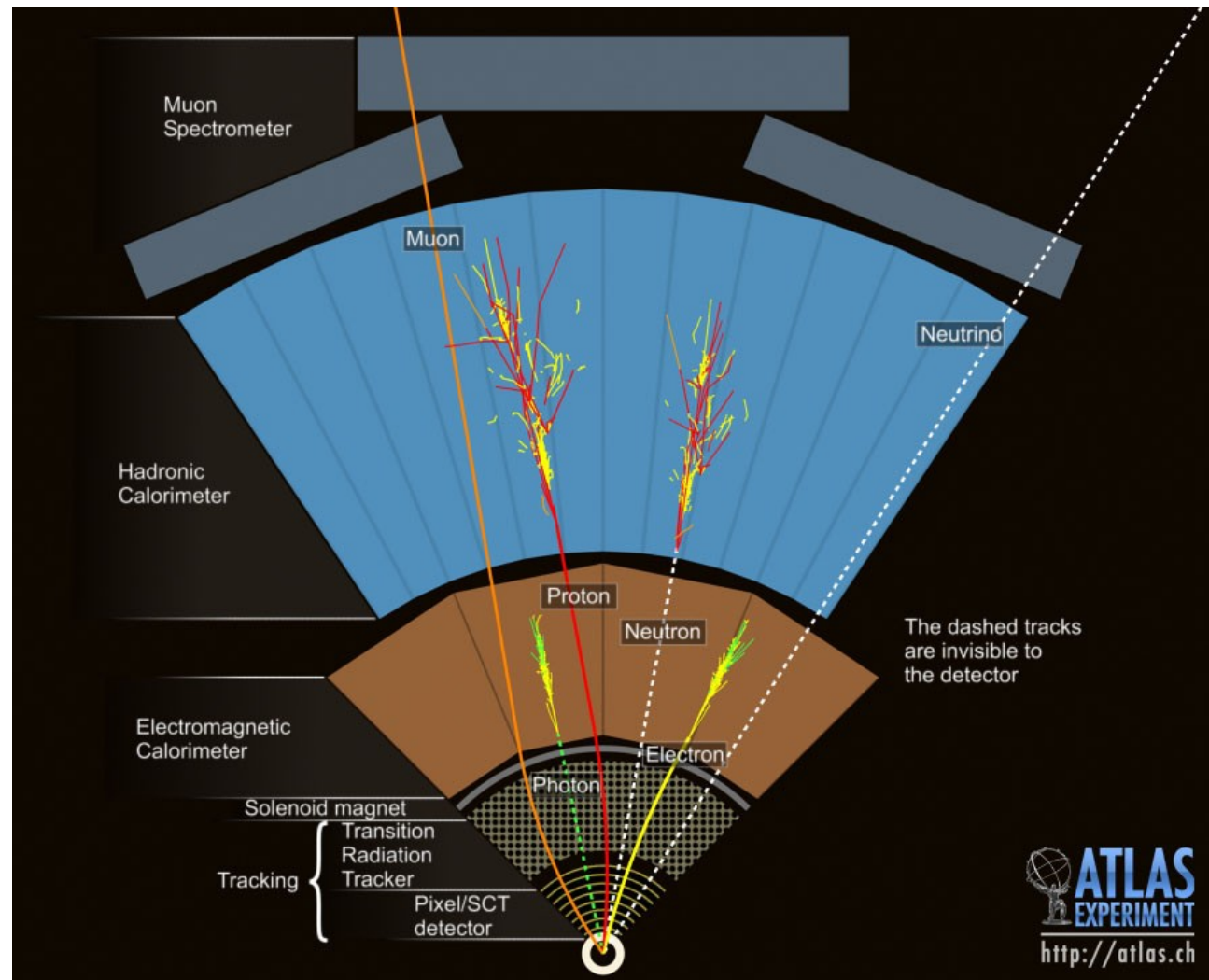
- En fait 2 traces très proches, de charges opposées
- Masse des traces proche de 0 = masse du photon



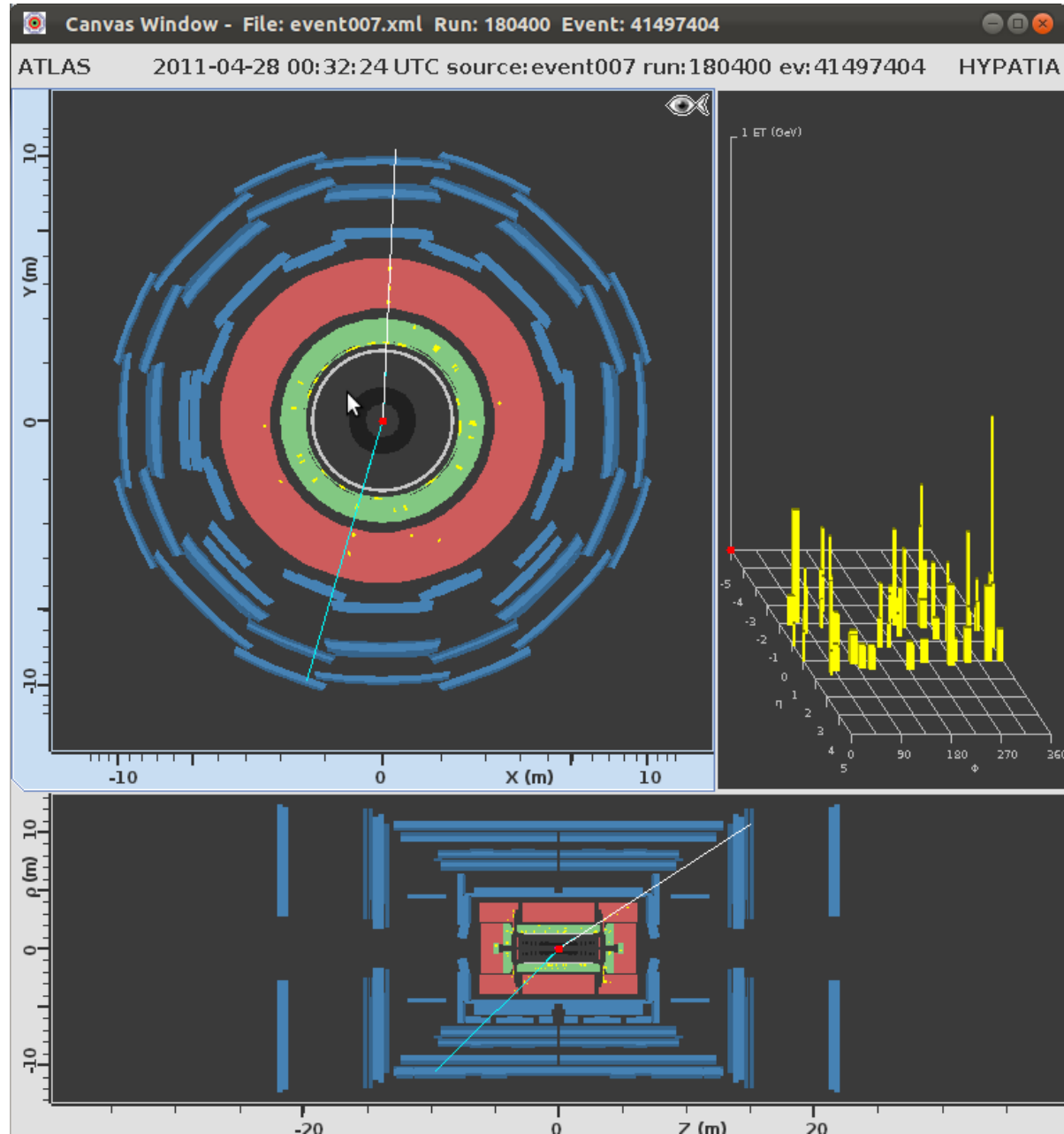


# Identifier les muons et antimuons

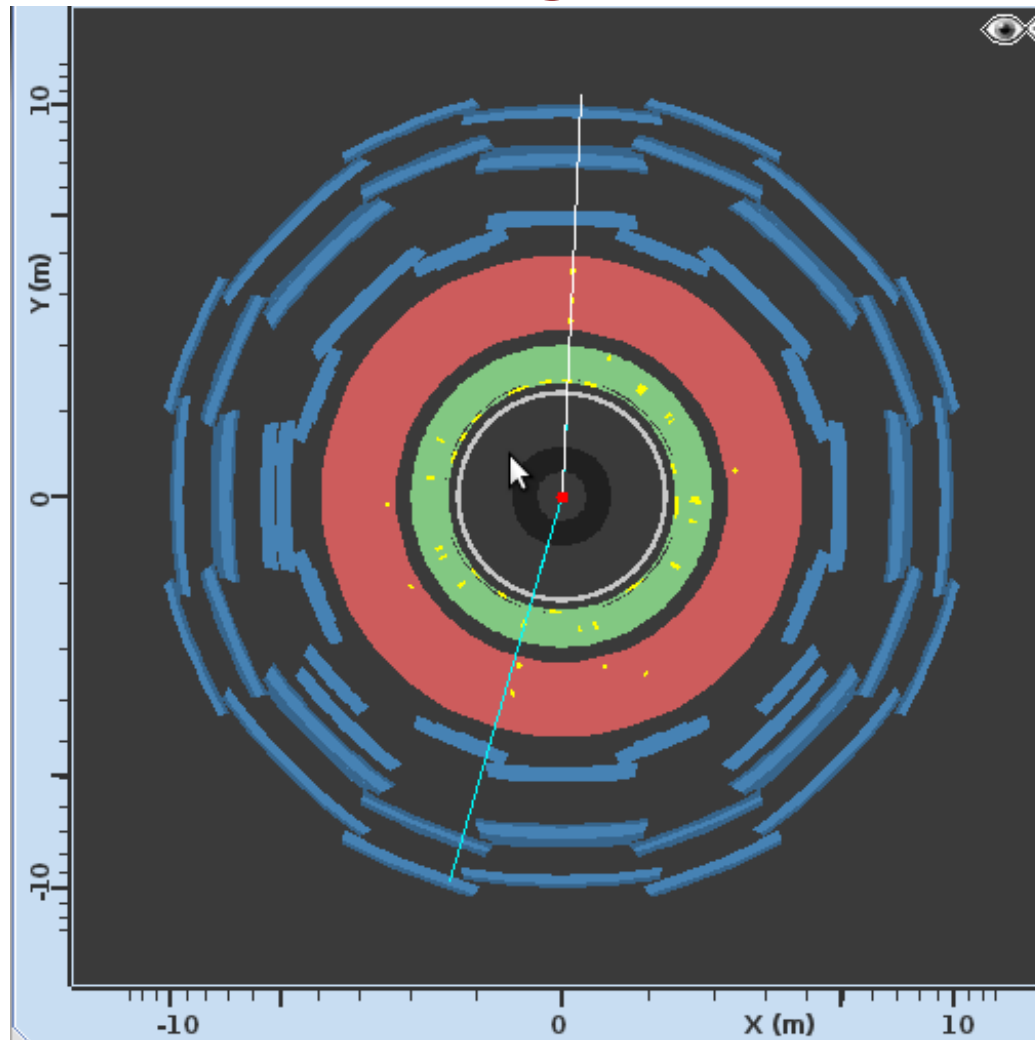
- Particule chargée, trace dans le trajectographe
- Un peu d'énergie dans le calorimètre
- Trace dans le détecteur à muons
- Courbure de la trace → signe de la charge électrique
- Continue sa course à l'extérieur d'ATLAS



# Identifier les muons/antimuons avec Hypatia

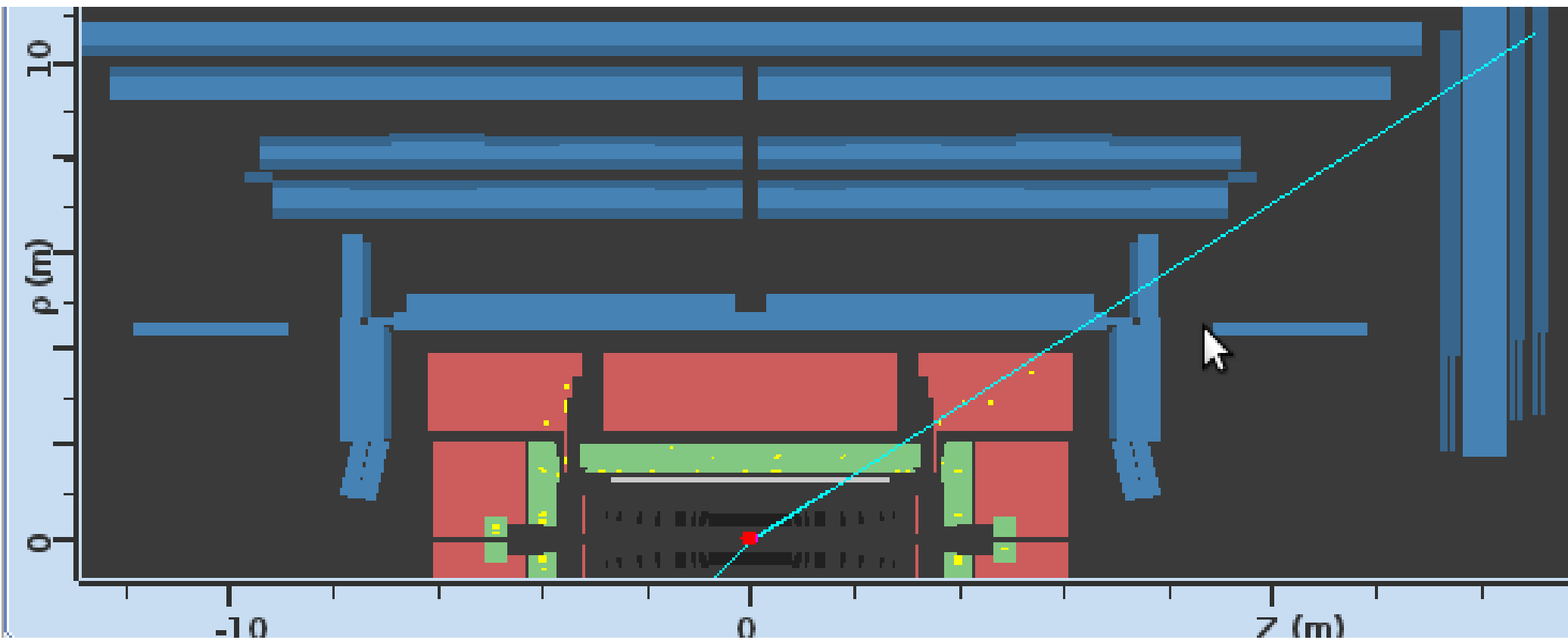


# Identifier les muons/antimuons avec Hypatia



- Trace dans le trajectographe et le système des muons
- Parfois un peu d'énergie dans les calorimètres

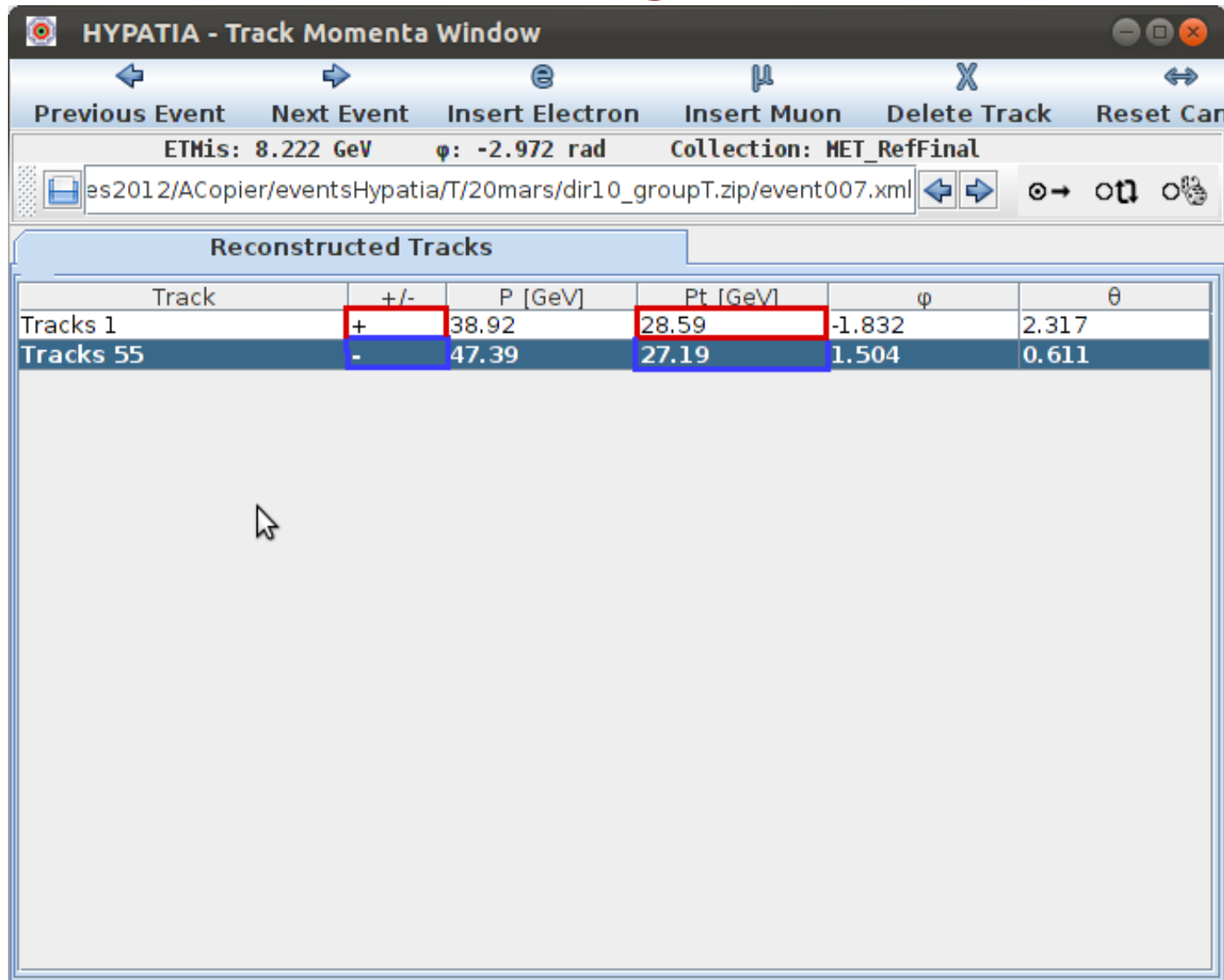
# Identifier les muons/antimuons avec Hypatia



- Trace dans le trajectographe et le système des muons
- Parfois un peu d'énergie dans les calorimètres



# Identifier les muons/antimuons avec Hypatia



HYPATIA - Track Momenta Window

Previous Event Next Event Insert Electron Insert Muon Delete Track Reset Car

ETHis: 8.222 GeV  $\psi$ : -2.972 rad Collection: MET\_RefFinal

es2012/ACopier/eventsHypatia/T/20mars/dir10\_groupT.zip/event007.xml

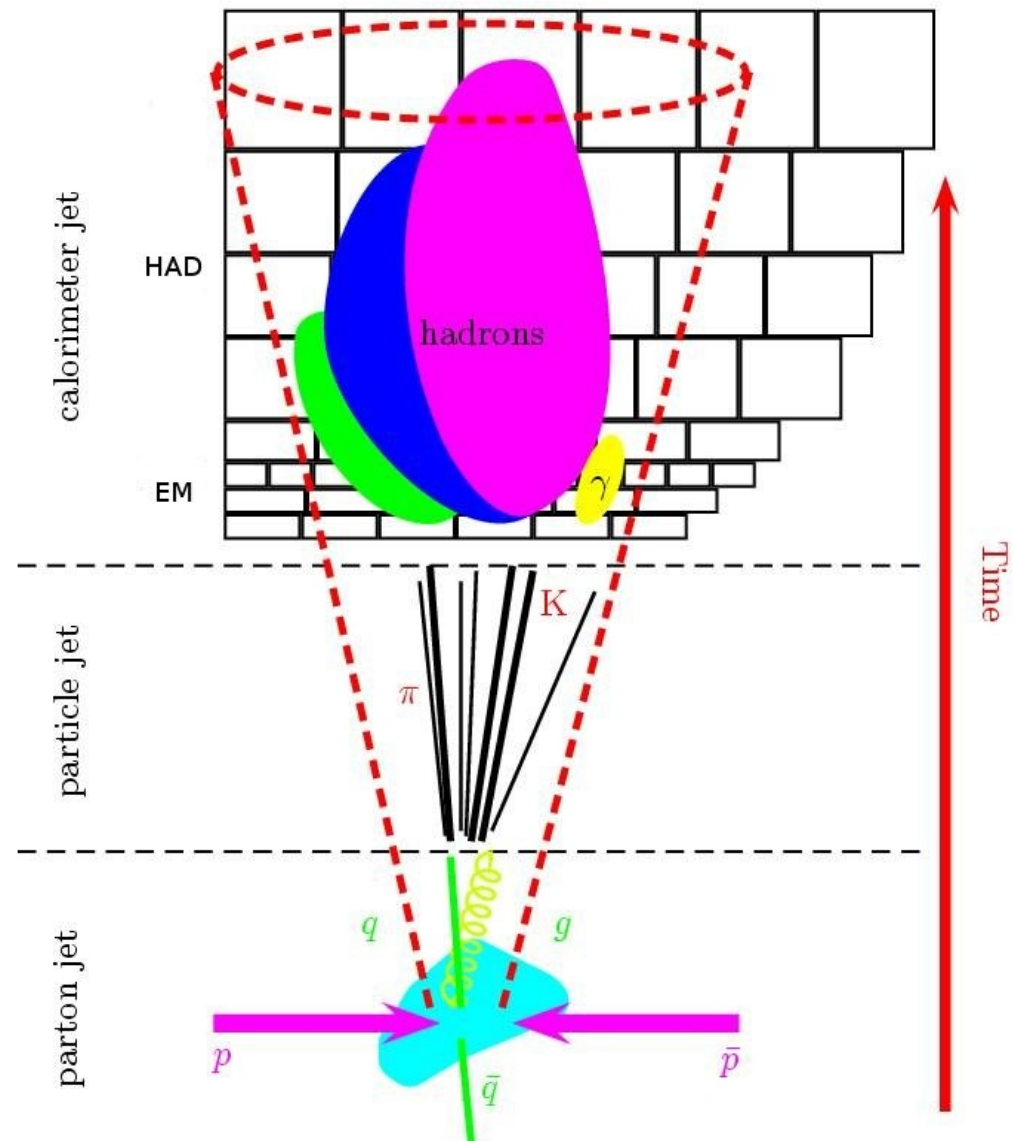
Reconstructed Tracks

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	$\phi$	$\theta$
Tracks 1	+	38.92	28.59	-1.832	2.317
Tracks 55	-	47.39	27.19	1.504	0.611

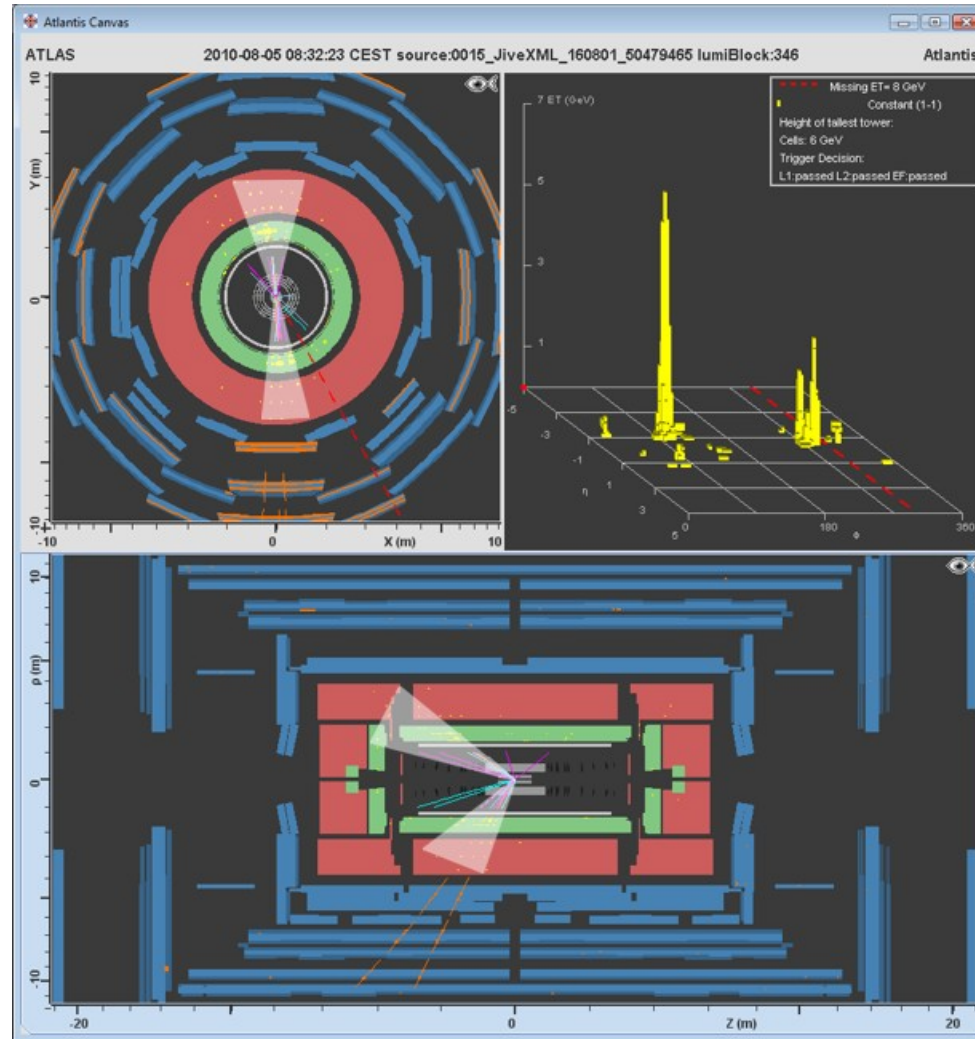
- charge **négative** → muon, **positive** → antimuon

# Identifier les quarks/antiquarks et gluons

- Jamais seuls, forment des hadrons
- Gerbes dans le calorimètre électromagnétique et surtout hadronique
- Particules chargées, traces dans le trajectographe

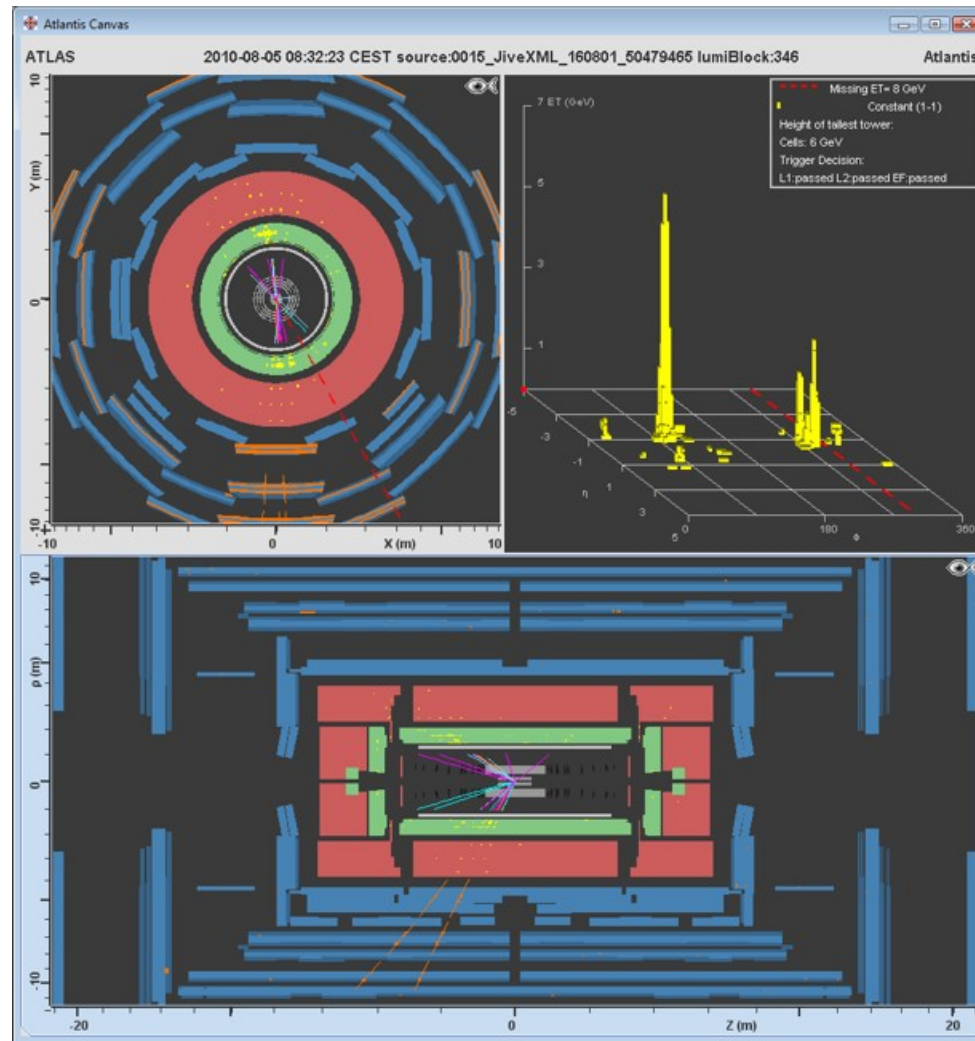


# Identifier les jets avec Hypatia



- Nombreuses particules → nombreuses traces
- Dépôts d'énergie dans les calorimètres (surtout hadronique)

# Identifier les jets avec Hypatia

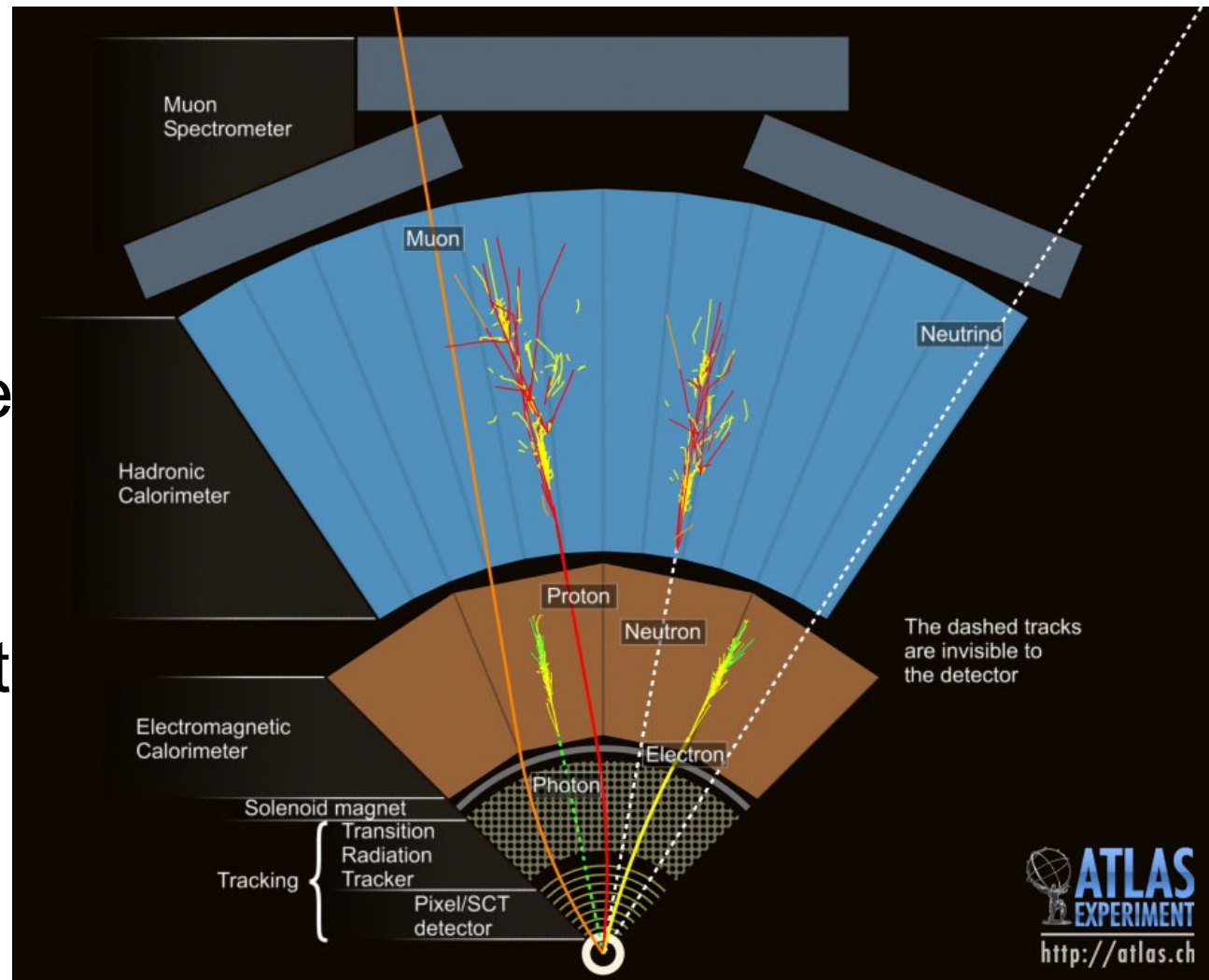


- Nombreuses particules → nombreuses traces
- Dépôts d'énergie dans les calorimètres (surtout hadronique)



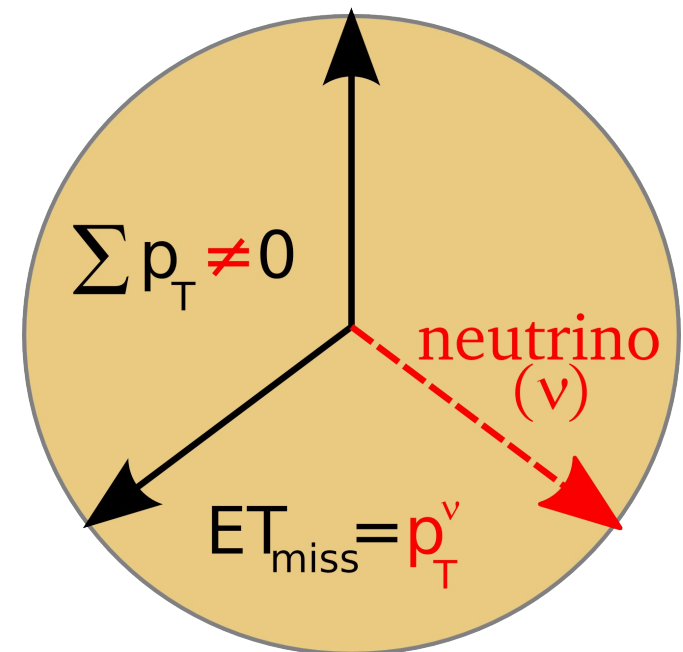
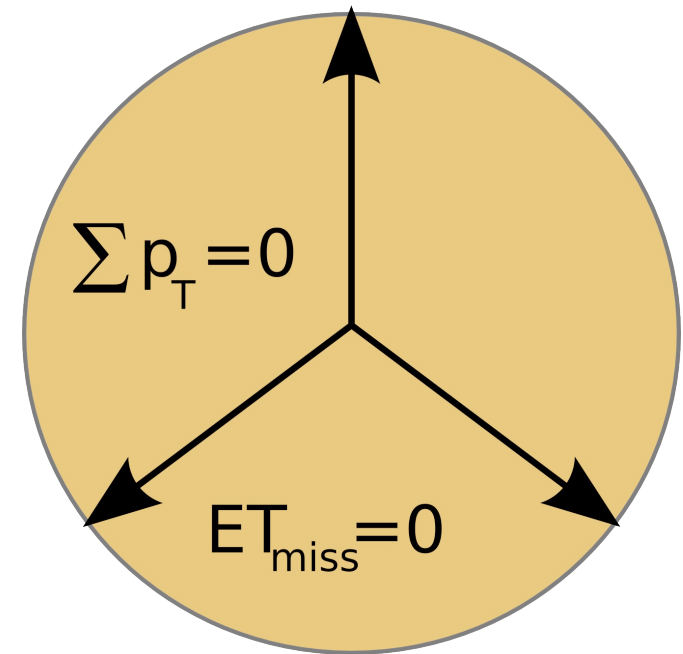
# Identifier les neutrinos

- Particule neutre qui n'interagit presque pas avec la matière
- Aucune trace dans le détecteur
- Identifié par induction, en utilisant la conservation de l'impulsion

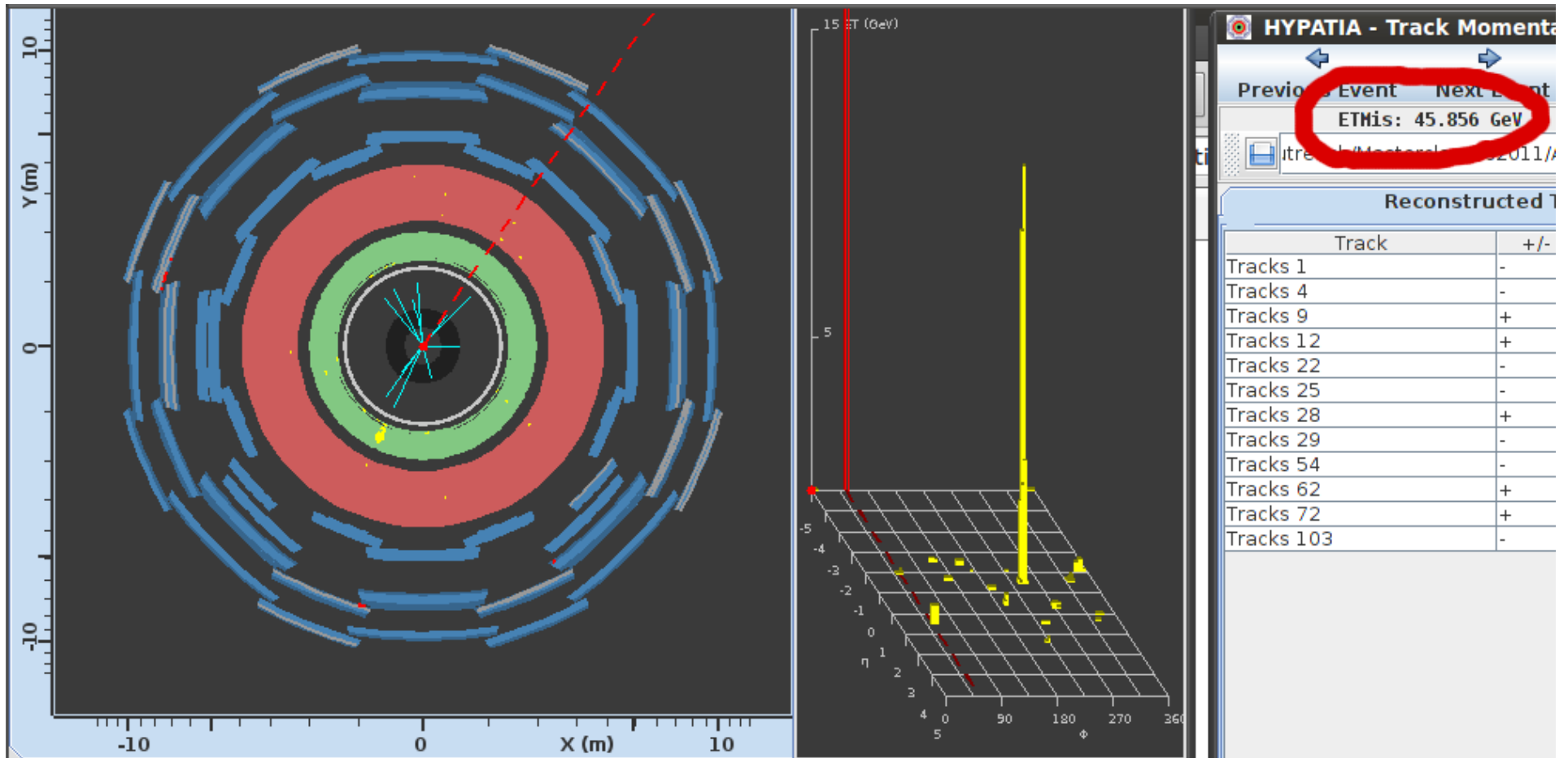


# Energie transverse manquante

- Sans neutrino
  - ▶ 3 particules reconstruites
  - ▶ Somme des impulsions dans le plan transverse : 0
  - ▶ Donc  $E_T^{\text{miss}} = 0$
- Avec un neutrino
  - ▶ On « voit » seulement une partie de l'événement
  - ▶ La somme des impulsions n'est pas nulle
  - ▶ La différence est  $E_T^{\text{miss}}$ , associée au neutrino



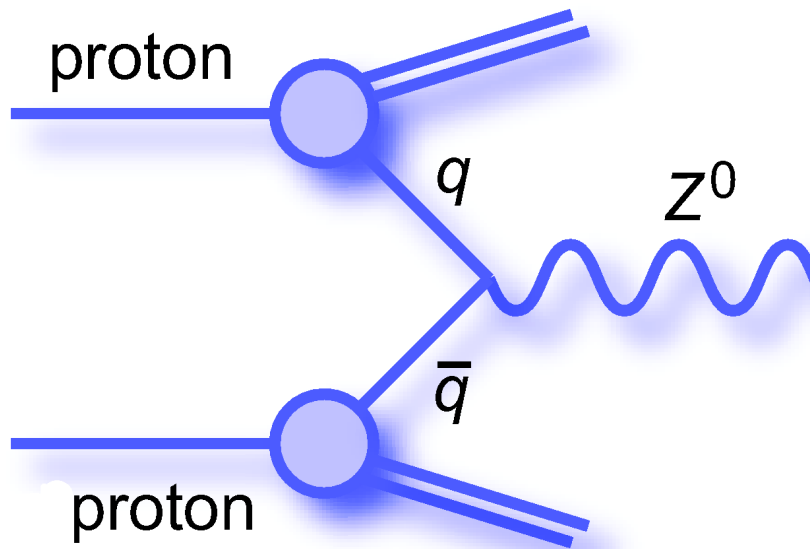
# Identifier un neutrino avec Hypatia



- Par conservation, somme des impulsions dans le plan transverse = 0
- Sinon, « énergie transverse manquante (ETMis) » : particules indétectables (ex : neutrinos), non détectées ou mal mesurées
- Représenté par une ligne rouge pointillée, valeur en haut à droite

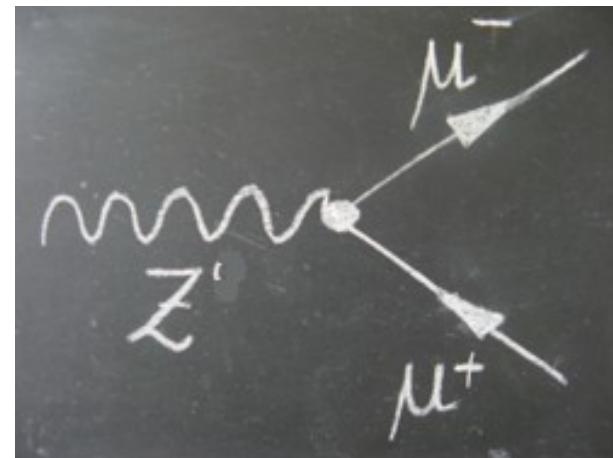
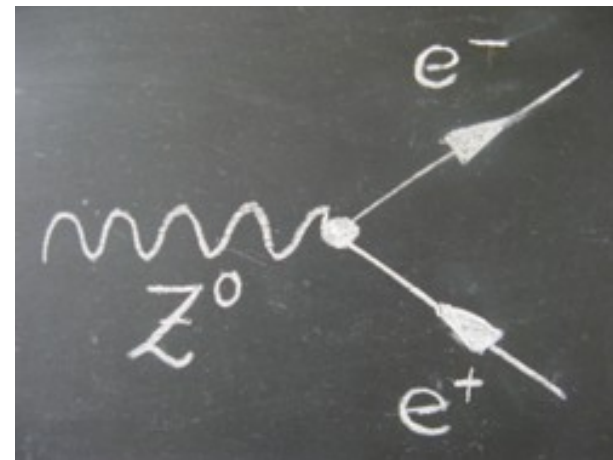
# Analyse : observer des résonances, comme des bosons $Z$

## Production



- Fusion d'un quark et d'un antiquark
- Antiquark dans la « soupe » à l'intérieur du proton

## Désintégration





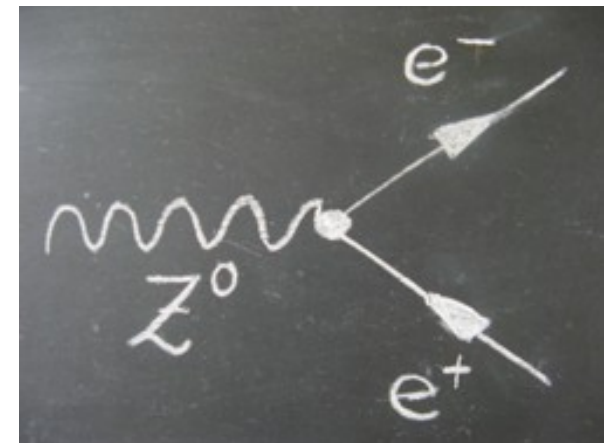
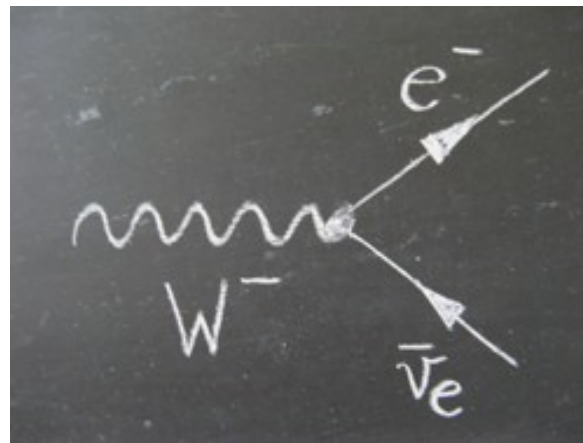
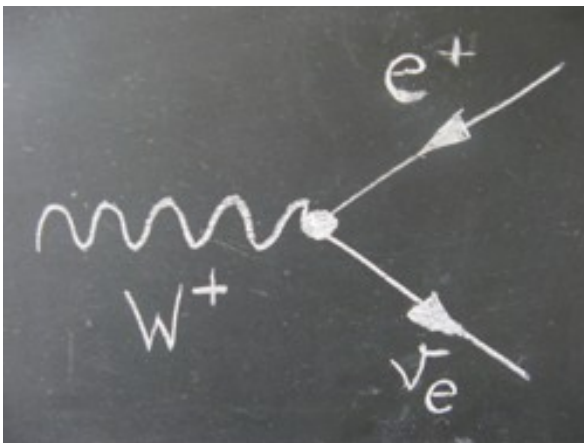
# Difficulté : le bruit de fond

- Signature similaire à ce que l'on cherche, mais venant d'une source différente
- Peut être un vrai processus qui fournit le même état final
- Ou bien dû au fait qu'une particule n'est pas vue dans le détecteur
  - par exemple s'échappe le long du faisceau
- Ou bien à une mauvaise reconstruction dans le détecteur
  - il y a un jet et je crois que c'est un électron
- Ou encore à la présence d'autres particules dans l'événement
  - chaque événement contient plusieurs collisions

# Exemple de signal et bruit de fond

- Bruit de fond : désintégration de bosons  $W \rightarrow e\nu$
- Si un jet supplémentaire est pris pour un électron, cela peut ressembler à un  $Z$

- Signal :  $Z \rightarrow ee$



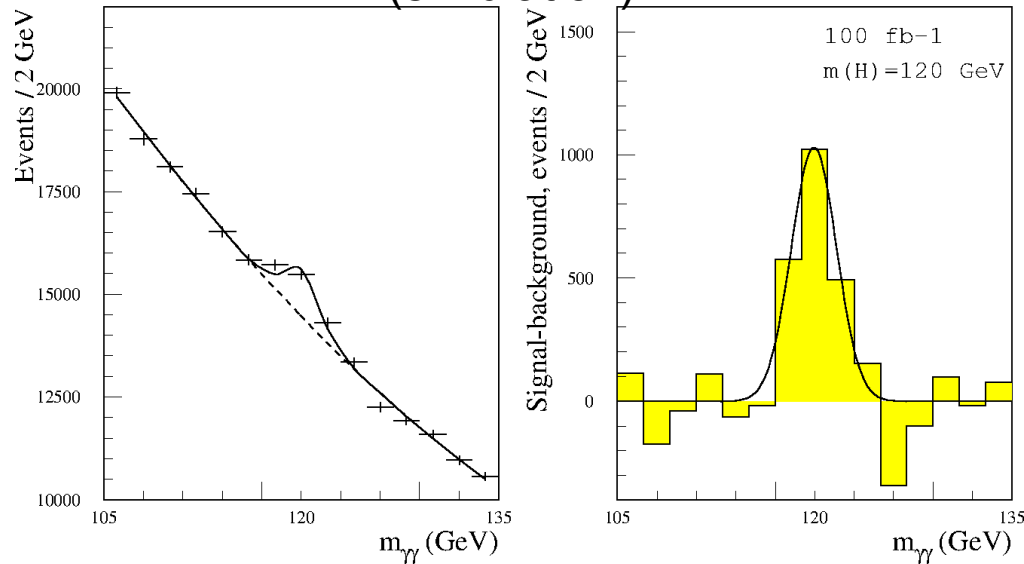
- Si on cherche des événements  $W$ , alors les  $Z$  peuvent être un bruit de fond !

# Et vous ?

- Recherche de bosons  $Z$ 
  - et d'autres résonances se désintégrant en deux leptons
- Recherche du boson de Higgs
  - $H \rightarrow ZZ \rightarrow e^+e^-e^+e^- / e^+e^-\mu^+\mu^- / \mu^+\mu^-\mu^+\mu^-$
  - $H \rightarrow \gamma\gamma$
- Mesure de la masse des «  $Z$  » et «  $H$  » à partir des particules mesurées dans le détecteur (électrons, muons, photons)

# Observer des bosons de Higgs

Masse invariante  $\gamma\gamma$  avec beaucoup de données  
(simulation)

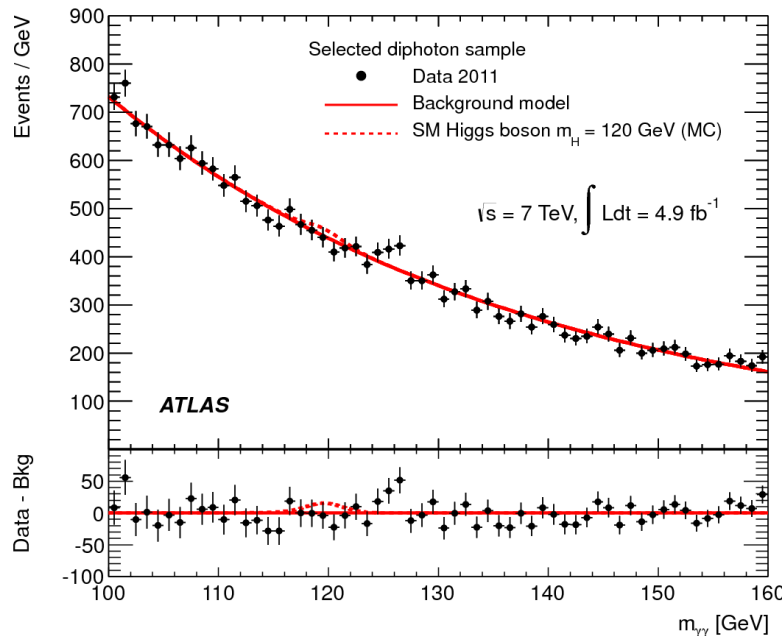
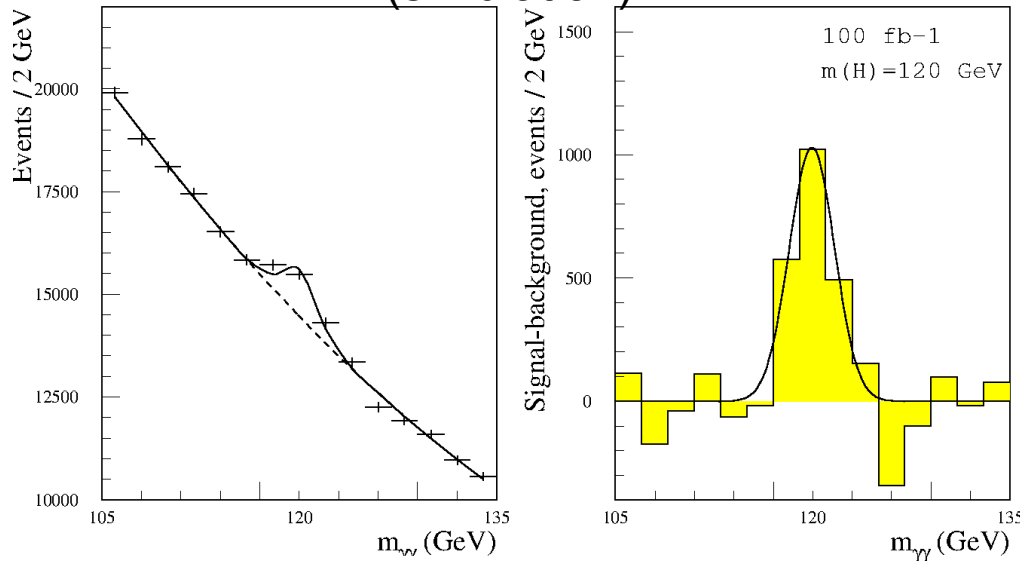


- Si les deux photons ( $\gamma$ ) proviennent de la désintégration d'une particule, on obtient la masse de cette particule
- Les mesures ne sont pas parfaites
  - petites variations autour d'une moyenne
- Ici : boson de Higgs de masse 120 GeV
- Le continuum sous le pic est dû au bruit de fond, où les deux particules combinées ne sont pas des paires  $\gamma\gamma$  ou ne proviennent pas de la même désintégration



# Observer des bosons de Higgs

Masse invariante  $\gamma\gamma$  avec beaucoup de données (simulation)



$m_{\gamma\gamma}$  avec 20 fois moins de données (ATLAS, mars 2012)

- Si les deux photons ( $\gamma$ ) proviennent de la désintégration d'une particule, on obtient la masse de cette particule
- Les mesures ne sont pas parfaites
  - petites variations autour d'une moyenne
- Ici : boson de Higgs de masse 120 GeV
- Le continuum sous le pic est dû au bruit de fond, où les deux particules combinées ne sont pas des paires  $\gamma\gamma$  ou ne proviennent pas de la même désintégration