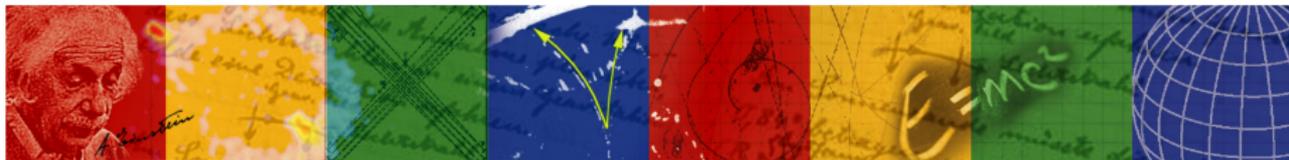


# Détection de particules dans l'expérience ATLAS

Yann Coadou

CPPM Marseille

CERN Masterclasses, Lycée Marcel Pagnol  
15 mars 2011



## Collisionneur de grande énergie

- Particules accélérables: suffisamment stables (électron/positron, proton/antiproton, ions)
- Sonder des longueurs plus courtes
- Produire des particules plus lourdes ( $E = mc^2$ )

## Collisions

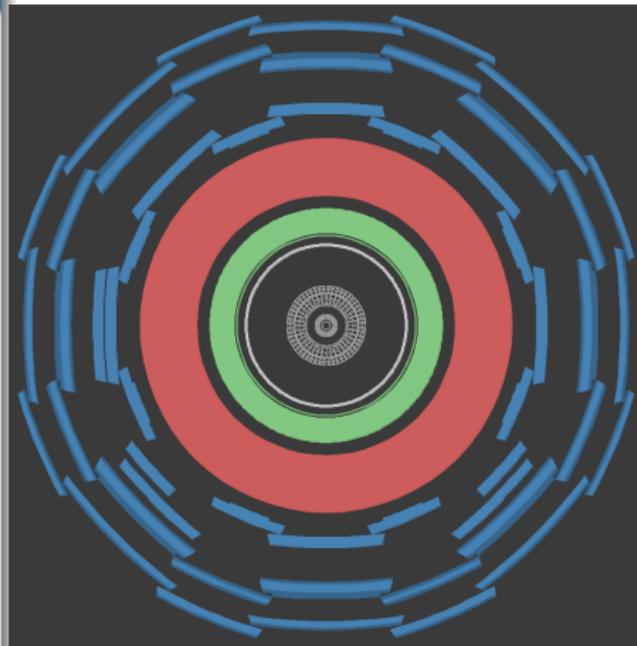
- Interactions entre particules accélérées (ou leurs constituants)
- Se produisent au centre d'un détecteur
- Etat final: particules suffisamment stables pour atteindre le détecteur ( $e, \gamma, \mu, \pi, p$ , etc.)

## Interprétation

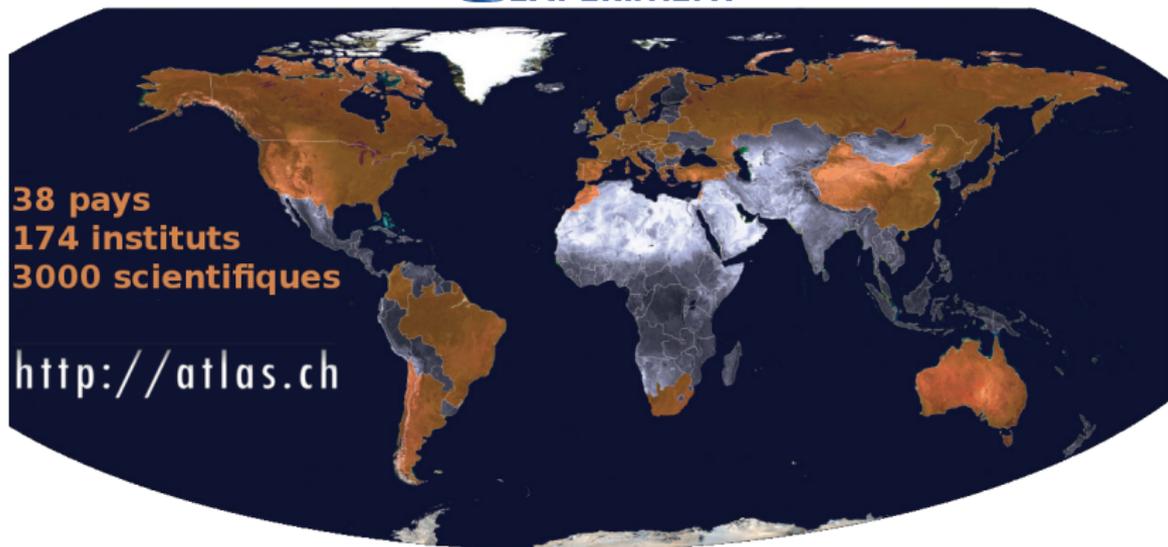
- Combiner les informations du détecteur pour former des objets
- A partir de ces objets, inférer ce qu'il s'est passé dans la collision
- Comparer avec les prédictions théoriques

## Un oignon

- **Détecteur interne (trajectographe)** Mesure charge et impulsion des particules chargées, dans un champ magnétique
- **Calorimètre électromagnétique** Mesure l'énergie des électrons, positrons et photons
- **Calorimètre hadronique** Mesure l'énergie des hadrons (particules contenant des quarks), comme les protons, neutrons, pions, etc.
- **Détecteur à muons** Mesure la charge et l'impulsion des muons



coupe transversale d'ATLAS

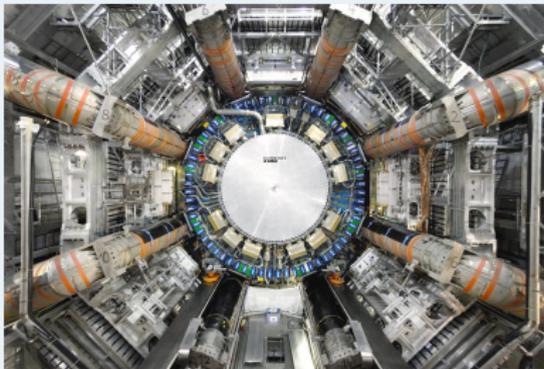


## Quelques chiffres

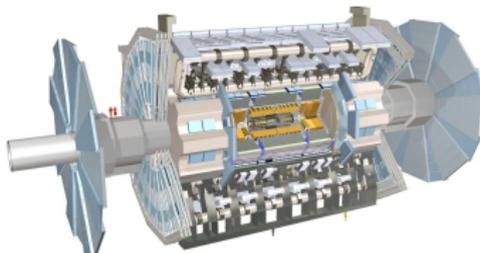
<http://atlas.ch>

- 25 m de diamètre, 46 m de long
- 7000 tonnes ( $\simeq$  tour Eiffel)
- 3000 km de câbles
- 5 millions de lignes de code
- Données par an  $\simeq$  600 ans de musique ( $\sim$  10 km de CDs)

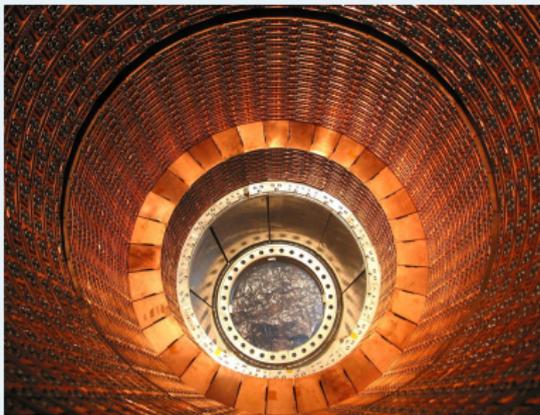
## Une idée de la taille en animation



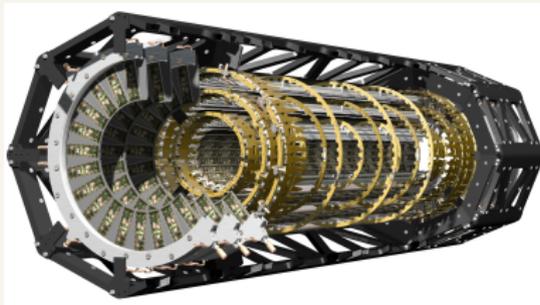
## Comment ça marche ?



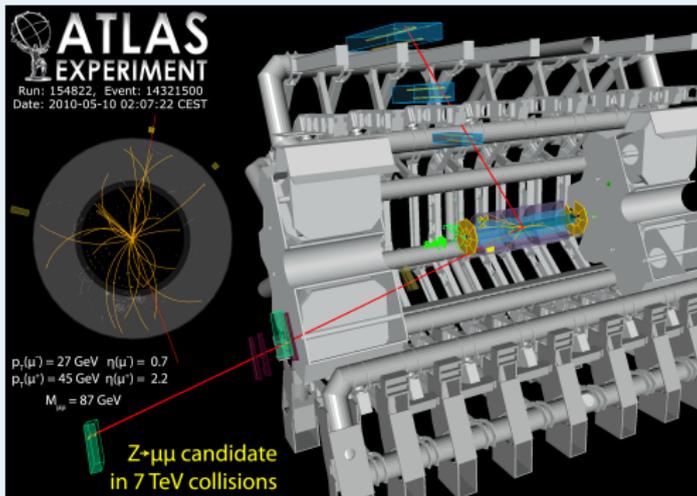
## Calorimètre électromagnétique



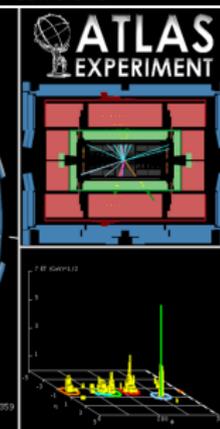
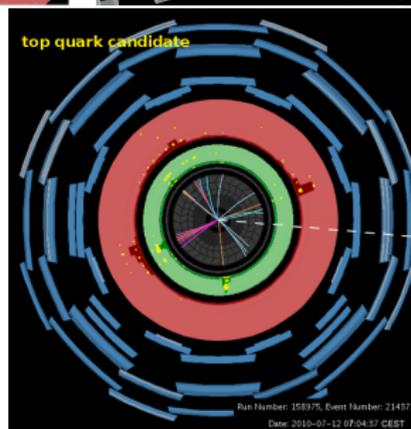
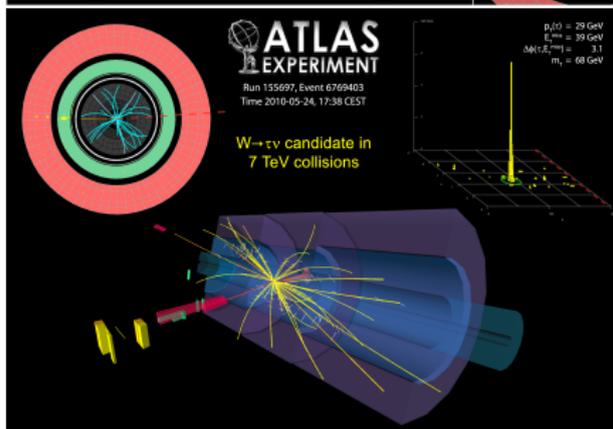
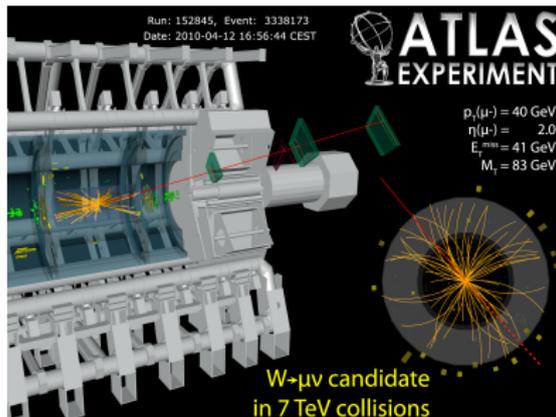
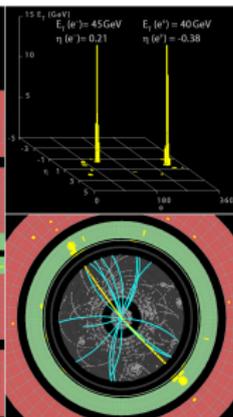
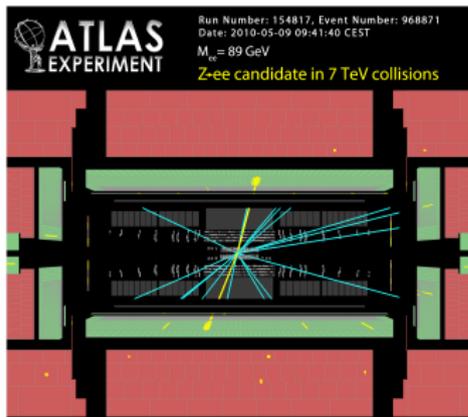
## Détecteur à pixels



## Événement $Z \rightarrow \mu\mu$ en film

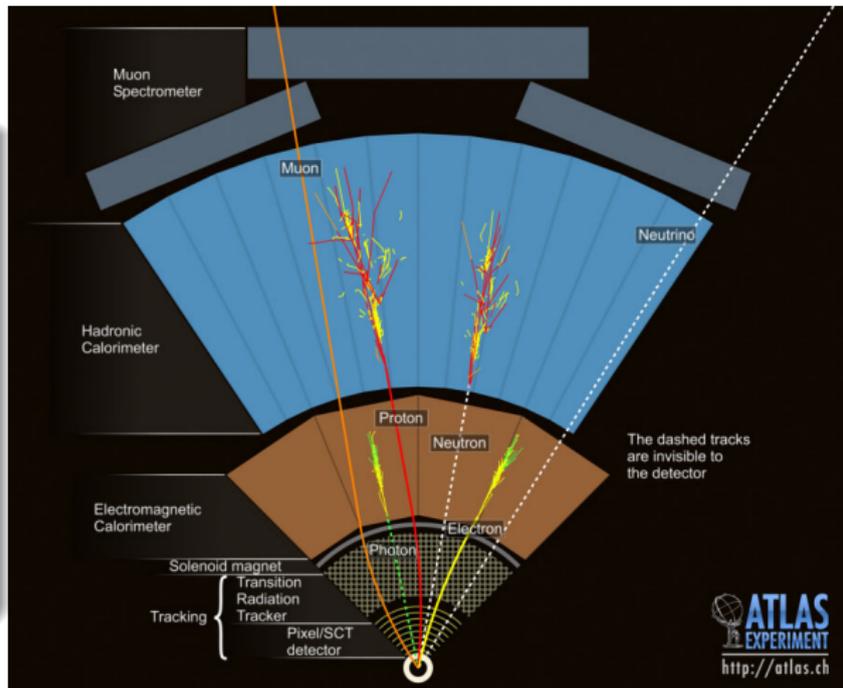


# Le modèle standard redécouvert : LHC 2010 !

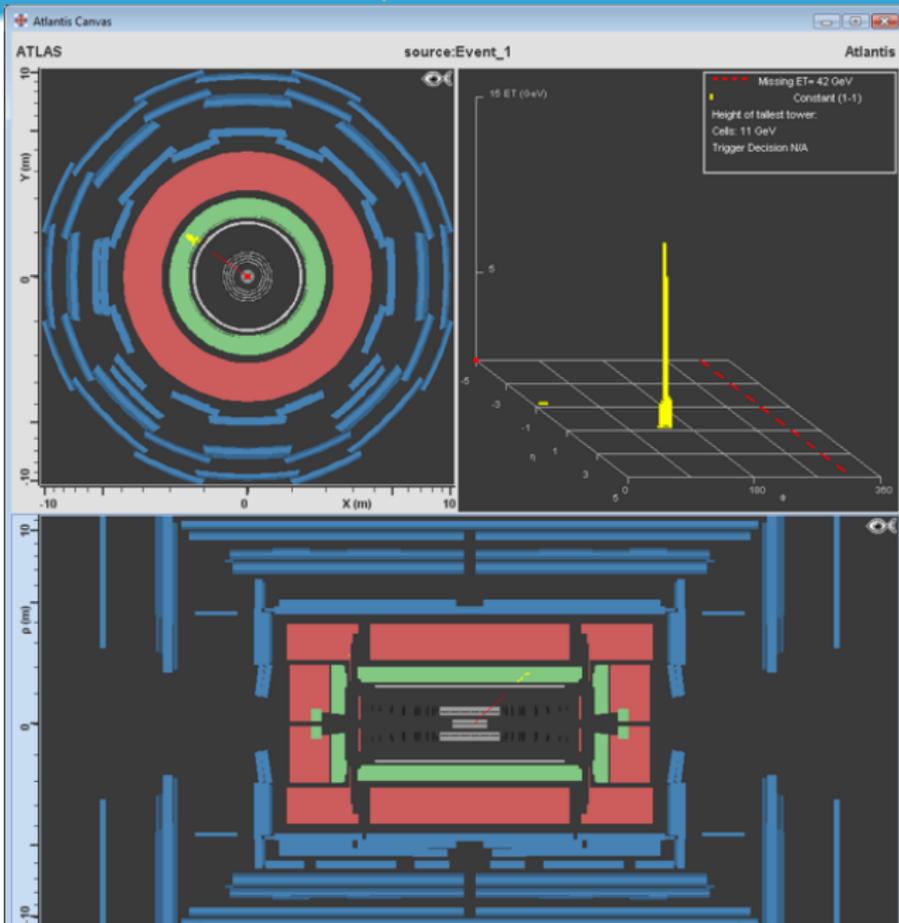


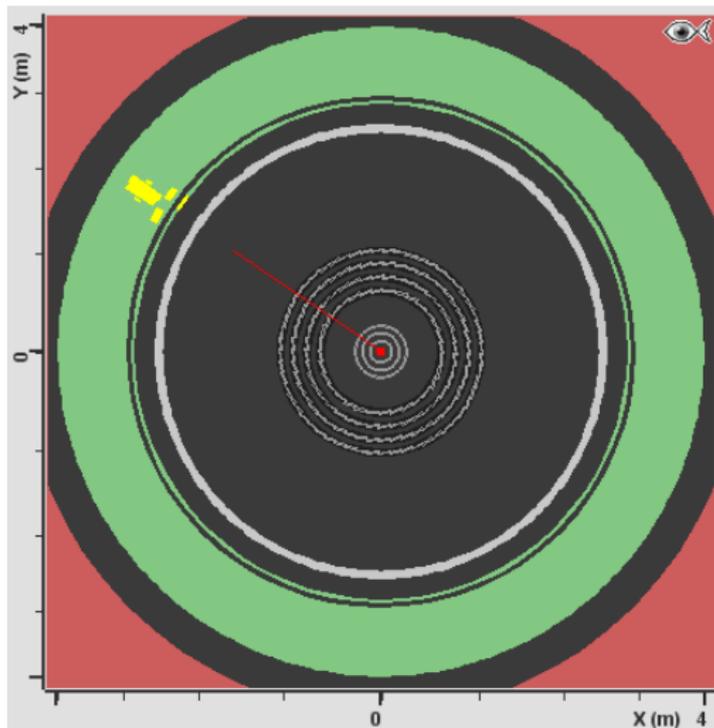
## Electron et positron

- Particule chargée : trace dans le trajectographe
- $\ominus$  = électron,  $\oplus$  = positron
- Gerbe dans le calorimètre électromagnétique

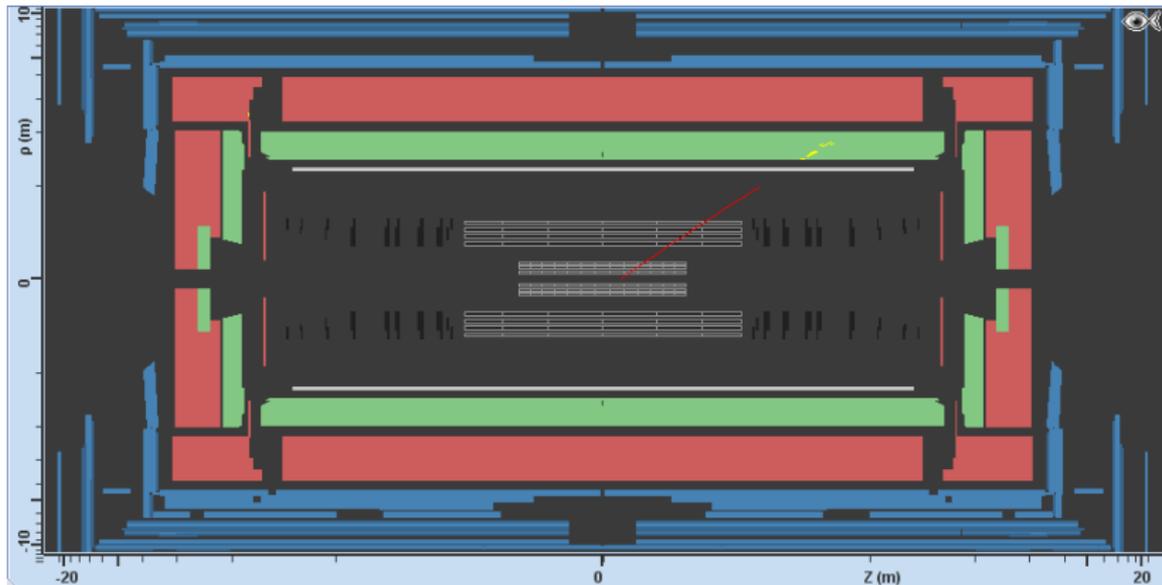


# Identifier un electron/positron avec Hypatia





- Trace dans le trajectographe
- Energie dans le calorimètre électromagnétique



- Trace dans le trajectographe
- Energie dans le calorimètre électromagnétique

# Identifier un electron/positron avec Hypatia

The screenshot displays the Atlantis GUI with three main panels:

- Top Left:** ATLAS detector cross-section view with a yellow track highlighted.
- Top Right:** 3D event reconstruction showing a yellow track and a red dashed line. A legend indicates: Missing ET = 42 GeV, Constant (1-1), Height of Island Tower, Calo: 11 GeV, Trigger Decision NA.
- Bottom Left:** Longitudinal view of the ATLAS detector.
- Right Panel:** Atlantis GUI interface with a red box around the mouse cursor icon and a red arrow pointing to it. Below the cursor is a table with columns 'name' and 'Value'. The table contains checked items: Status, InDet, Calo, MuonDet, and Objects.
- Bottom Right:** A text area containing the message "Welcome to Atlantis !" and the file path "Minerva1.xml (10602000326459)".

- Choisir la main et cliquer sur la trace
- Des infos apparaissent dans la fenêtre en bas à droite

```
File: JiveXML_5104_20651.xml (51040020651)

Event_1.xml (10602000326459)

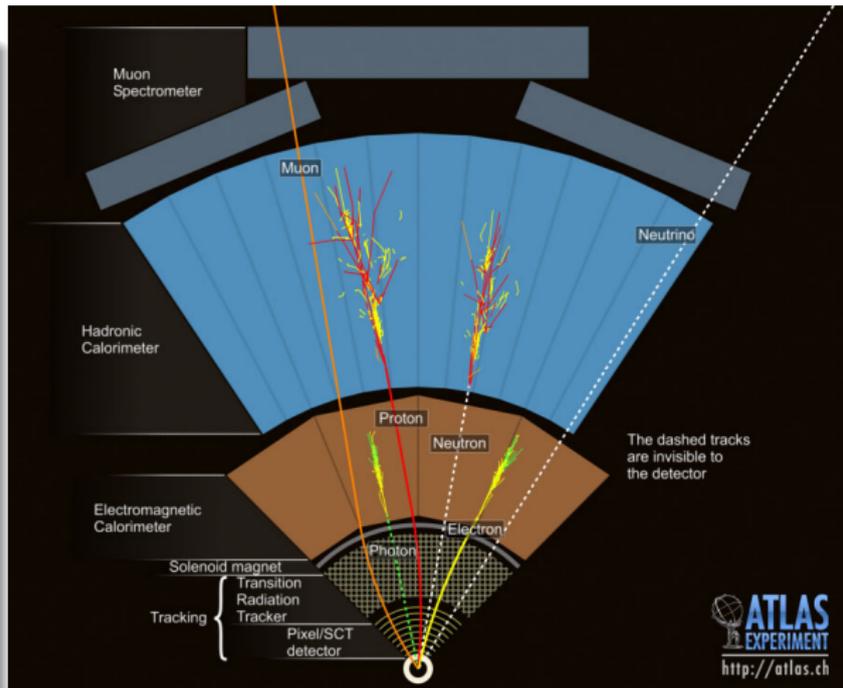
InDetTrack index: 0
PT=-42.776 GeV
η = 0.753
Φ = 145.562°
Px=-35.279 GeV
Py=24.191 GeV
Pz=35.368 GeV
numPixelHits = 3
numSCTHits = 9
numTRTHits = 19
```

InDetTrack index: 0  
PT=-42.776 GeV  
η = 0.753  
Φ = 145.562°  
Px=-35.279 GeV

- $p_T$  = impulsion transverse
- Le signe donne la charge de la particule
- Ici :  $\ominus \Rightarrow$  c'est un électron

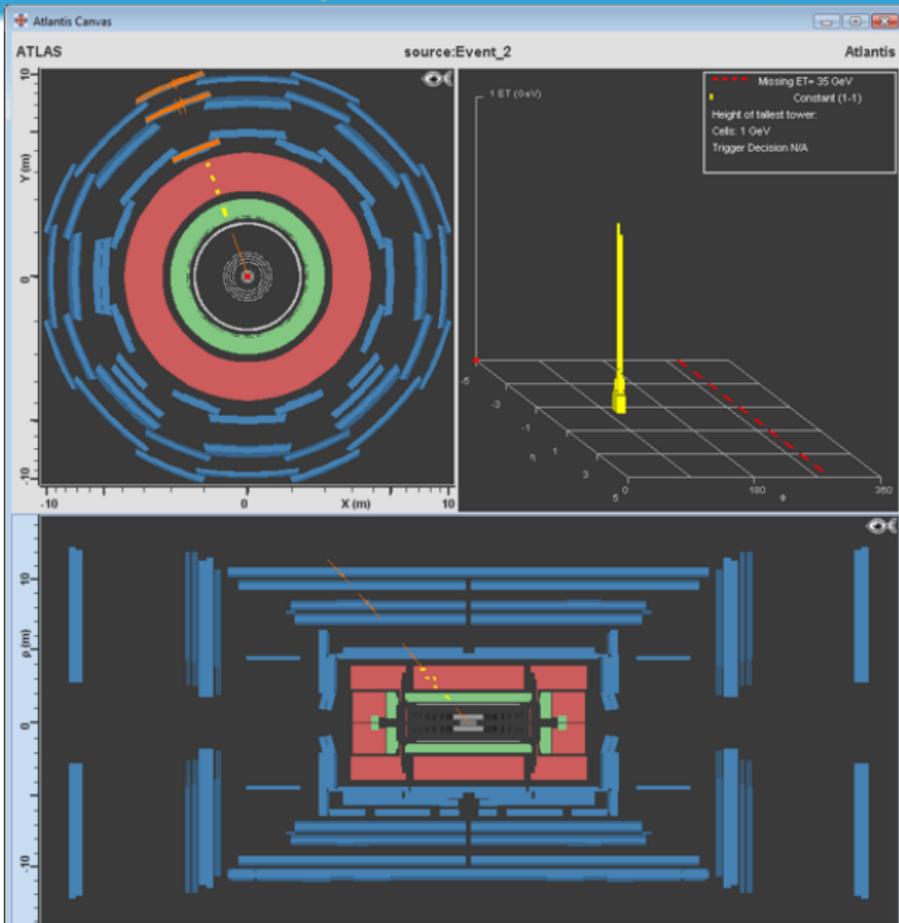
## Muon et antimuon

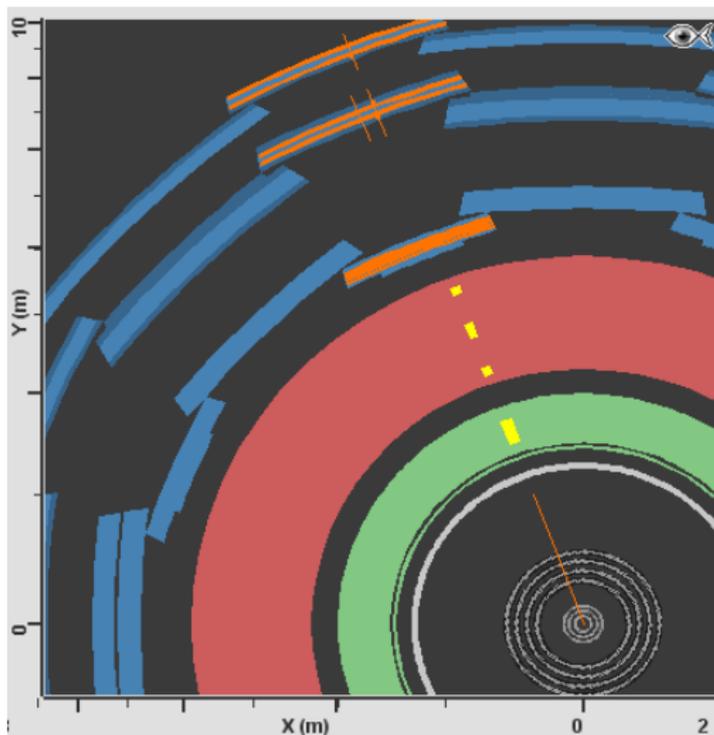
- Particule chargée : trace dans le trajectographe
- $\ominus$  = muon,  
 $\oplus$  = antimuon
- Un peu d'énergie dans les calorimètres
- Trace dans le détecteur à muons
- Continue sa course à l'extérieur d'ATLAS



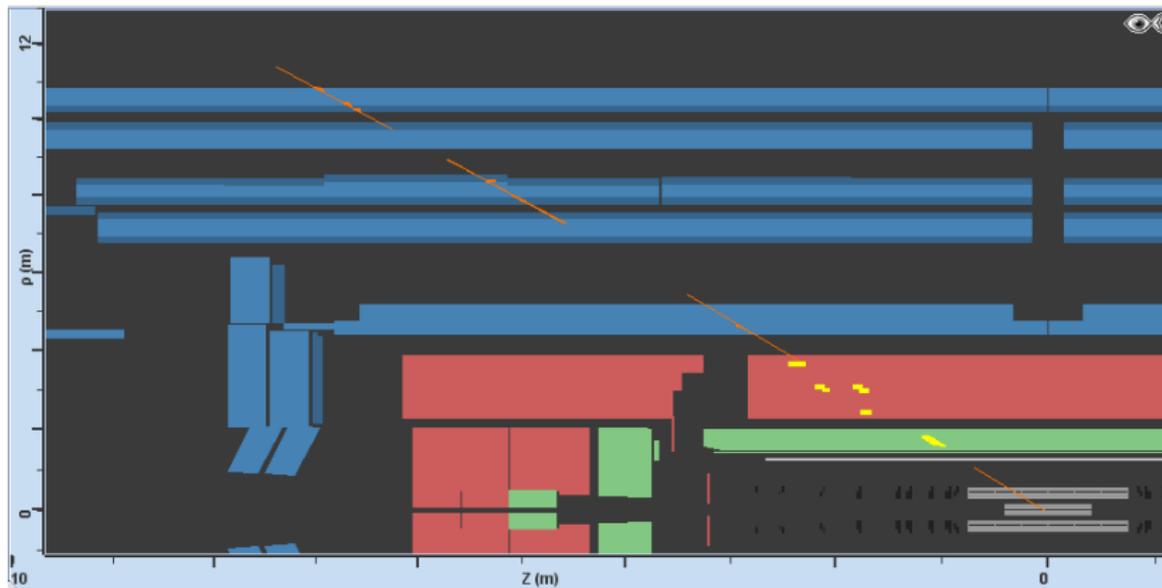


# Identifier un muon/antimuon avec Hypatia



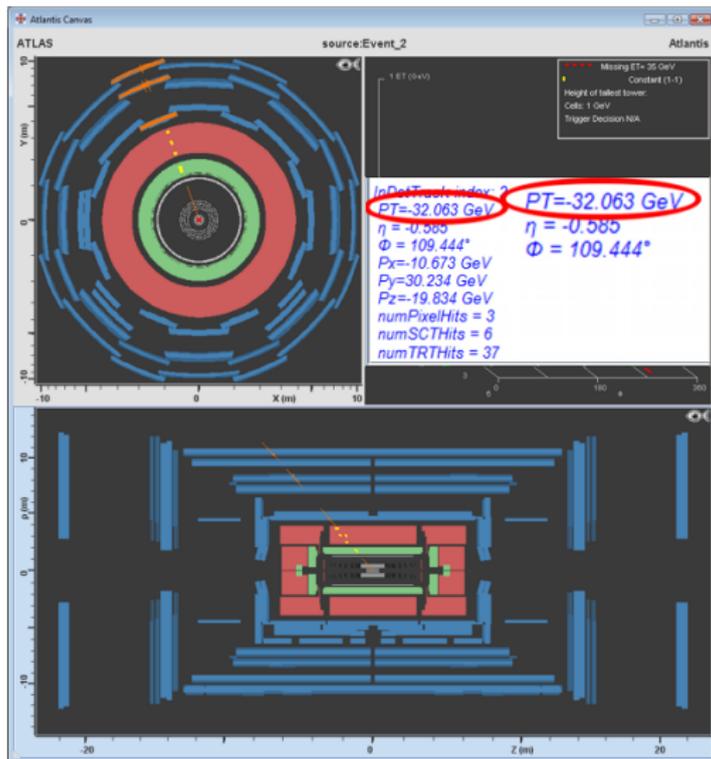


- Trace dans le trajectographe et le système des muons
- Un peu d'énergie dans les calorimètres



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

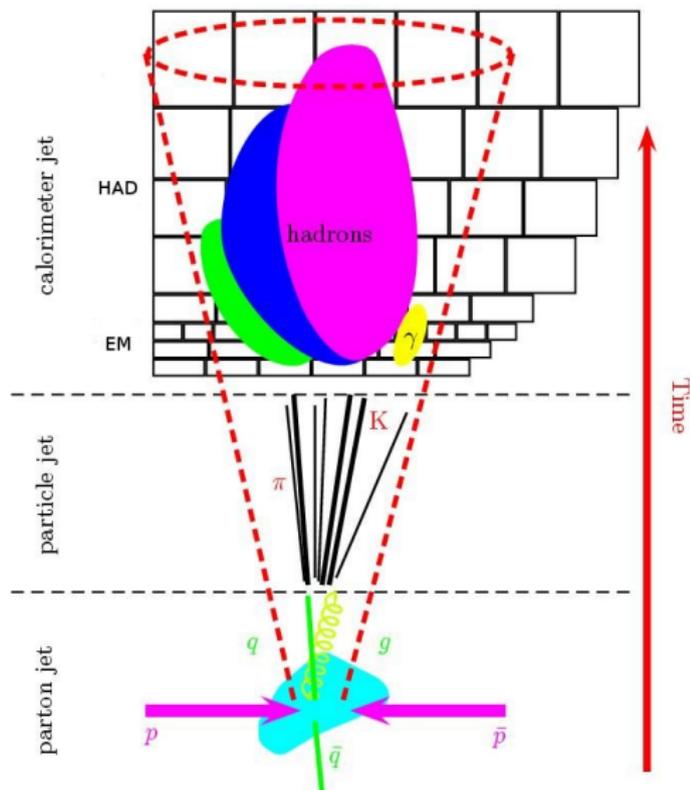
# Identifier un muon/antimuon avec Hypatia



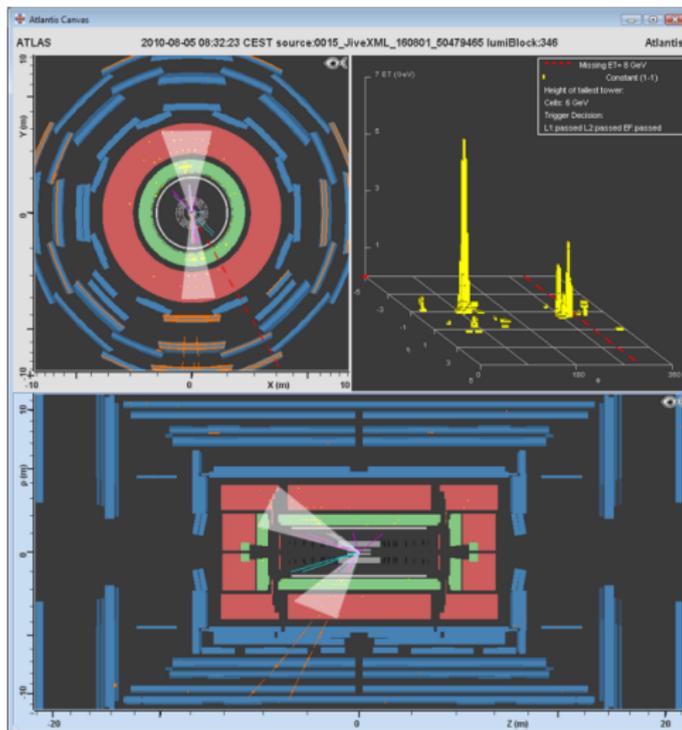
- $p_T \ominus \Rightarrow c'$  est un muon

## Quarks, antiquarks et gluons

- Forment plusieurs hadrons  
⇒ jets
- Particules chargées : traces dans le trajectographe
- Gerbes dans le calorimètre électromagnétique et surtout dans le calorimètre hadronique

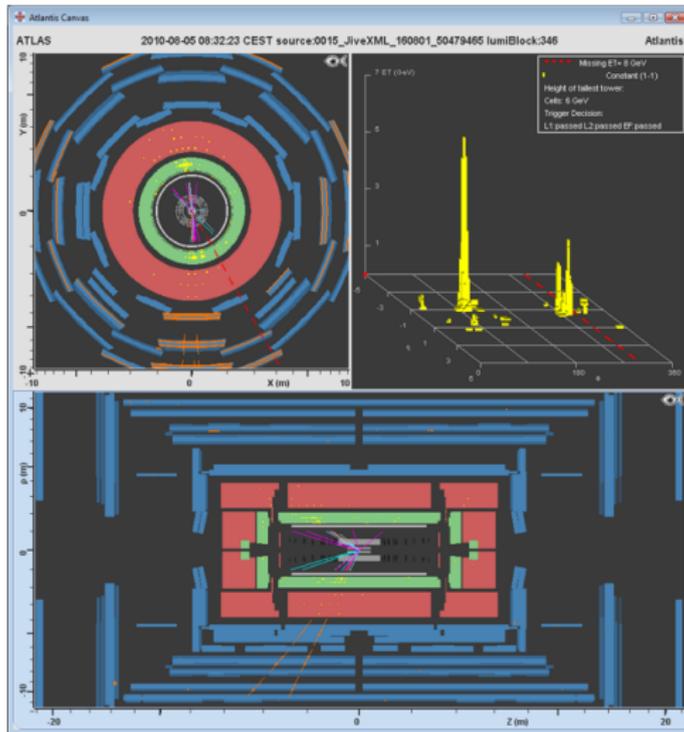


# Identifier un jet avec Hypatia



- Nombreuses particules  $\Rightarrow$  nombreuses traces
- Dépôts d'énergie des les calorimètres (surtout hadronique)

# Identifier un jet avec Hypatia



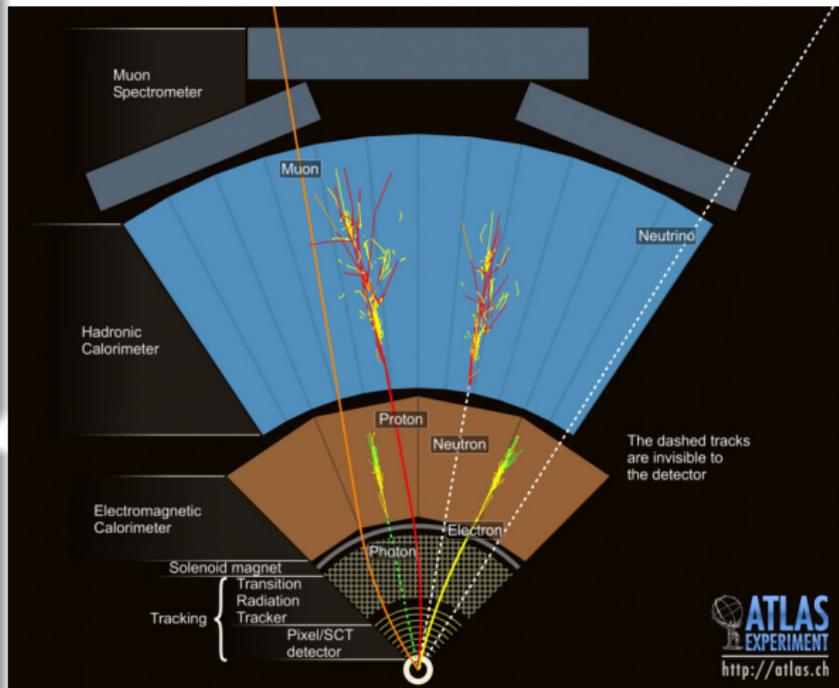
- Nombreuses particules  $\Rightarrow$  nombreuses traces
- Dépôts d'énergie des les calorimètres (surtout hadronique)

## Proton/antiproton/pion

- Particule chargée : trace dans le trajectographe
- $\ominus$  = antiproton,  $\pi^-$   
 $\oplus$  = proton,  $\pi^+$
- Gerbe dans le calorimètre hadronique

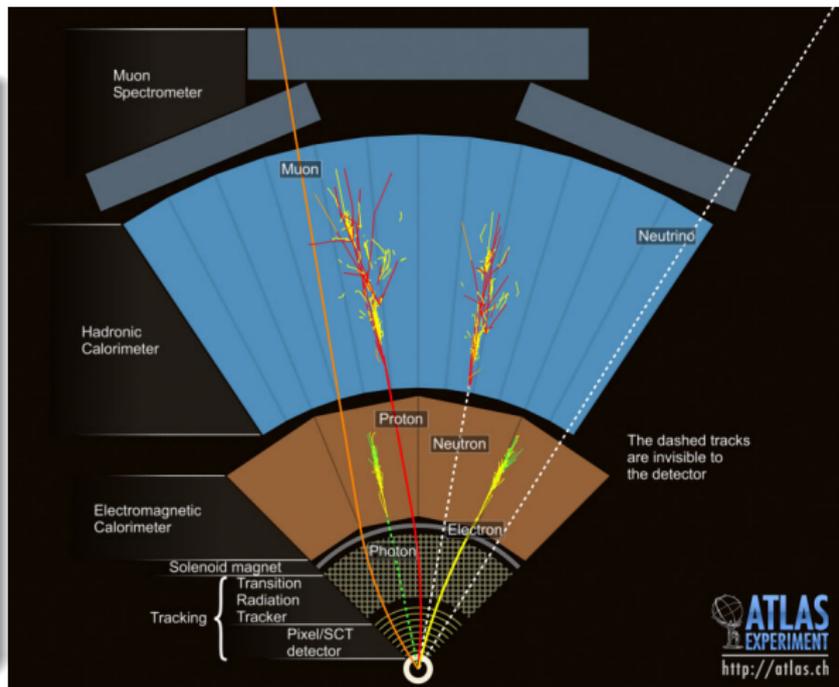
## Neutron

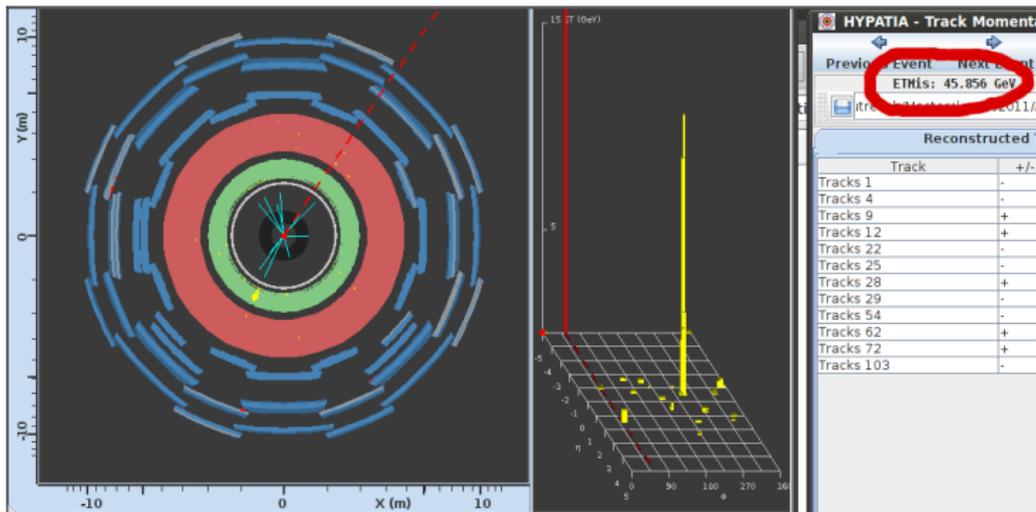
- Particule neutre : pas de trace dans le trajectographe
- Gerbe dans le calorimètre hadronique



## Neutrinos

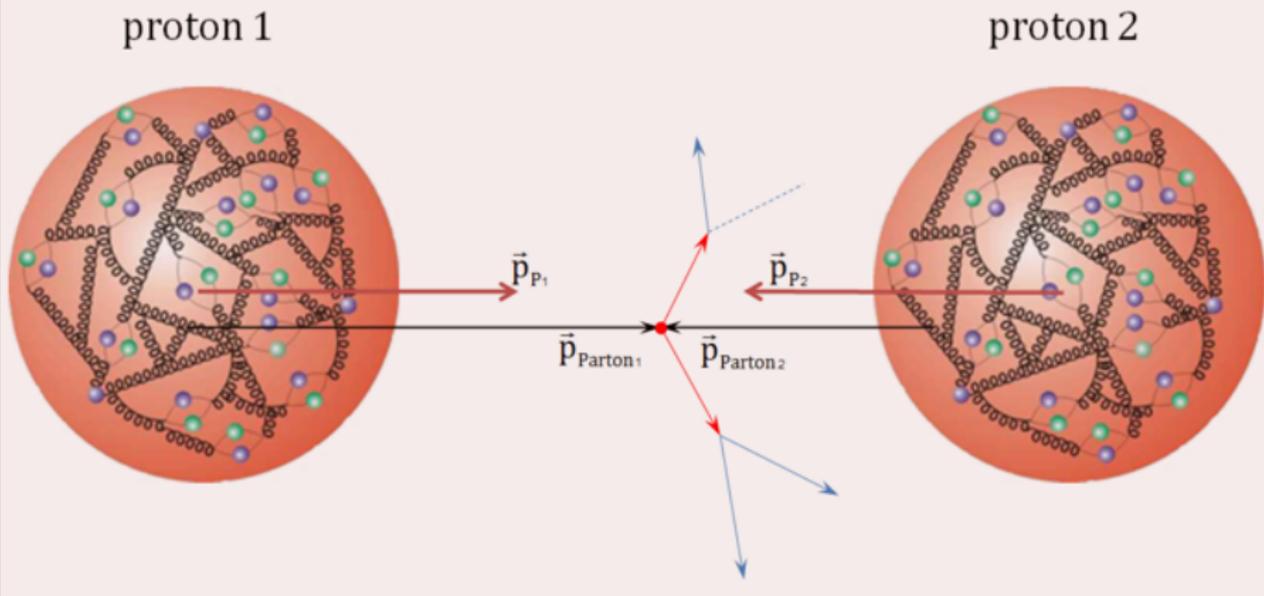
- Particule neutre qui n'interagit presque pas avec la matière
- $\Rightarrow$  aucune trace dans le détecteur !
- Identifié par induction, par le principe de conservation de l'impulsion





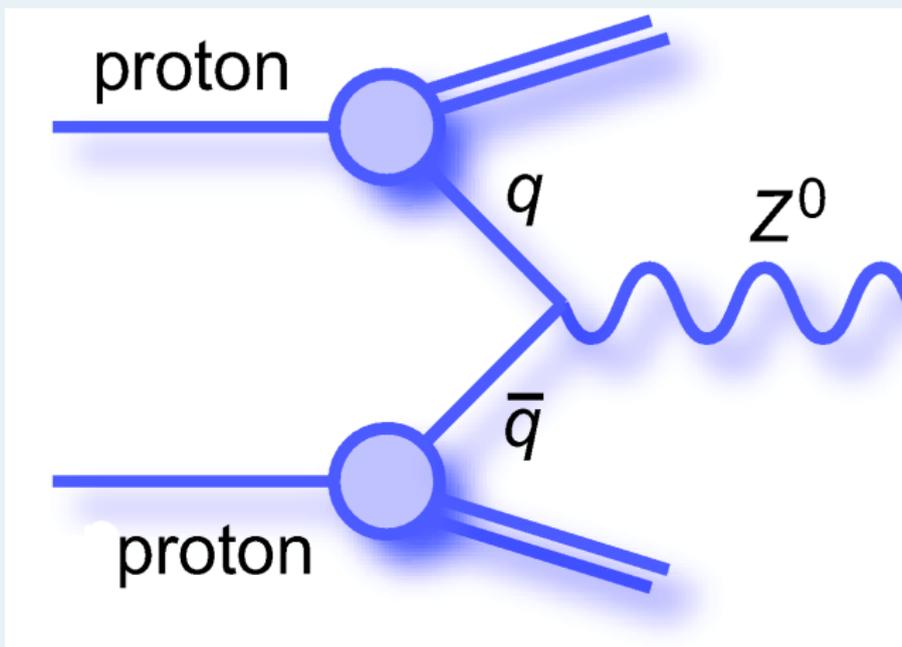
- Par conservation, la somme des impulsions dans le plan transversal vaut 0
- Sinon, “énergie transverse manquante (Missing  $E_T$ , ETMis)” : particules indétectables (comme les neutrinos), non détectées ou mal mesurées (personne n’est parfait)
- Représenté par la ligne pointillée rouge, valeur en haut à droite

... et eurent beaucoup d'enfants !



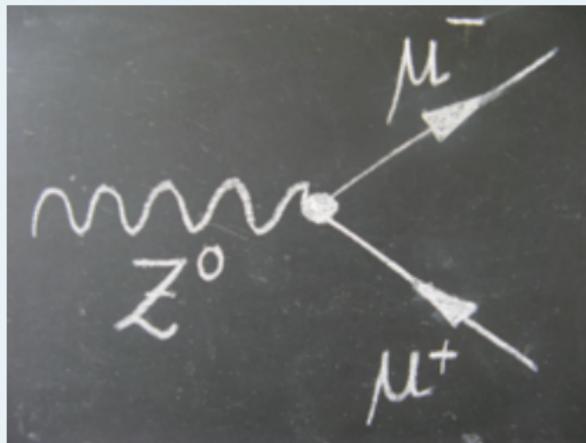
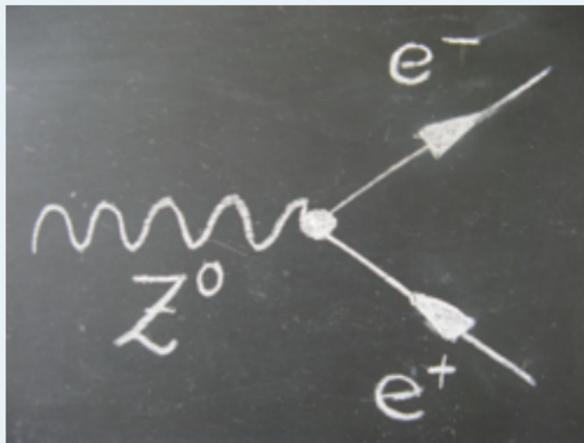
- Collision proton–proton = collision entre constituants (quarks et/ou gluons)

## Comment sont-ils produits ?



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

## Que leur arrive-t-il ?



- Donne aussi souvent des leptons tau, plus difficiles à identifier
- Se désintègre aussi en paires quark-antiquark (70% des cas, plus difficile à identifier) ou en paires de neutrinos (20%)



# Un événement $Z \rightarrow \tau\tau$ dans ATLAS



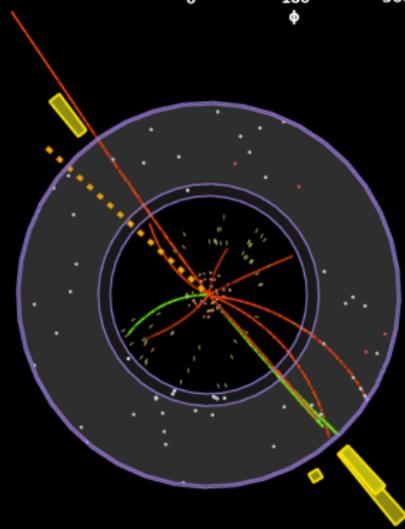
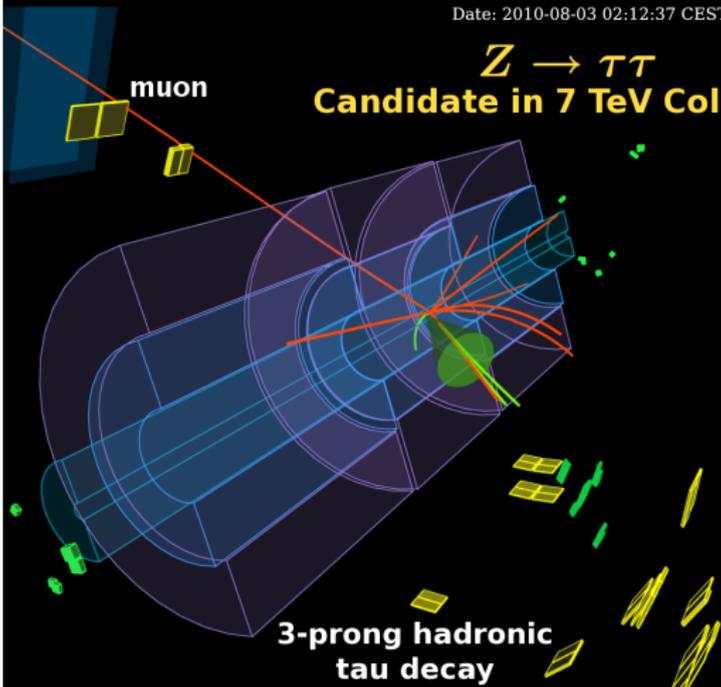
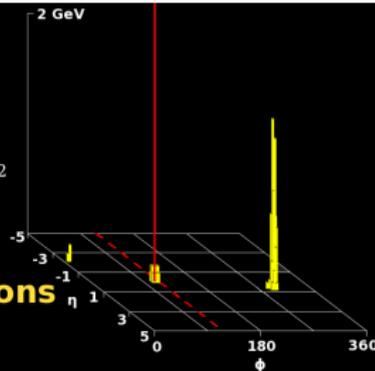
$p_T(\mu) = 18 \text{ GeV}$   
 $p_T^{\text{vis}}(\tau_h) = 26 \text{ GeV}$   
 $m_{\text{vis}}(\mu, \tau_h) = 47 \text{ GeV}$   
 $m_T(\mu, E_T^{\text{miss}}) = 8 \text{ GeV}$   
 $E_T^{\text{miss}} = 7 \text{ GeV}$



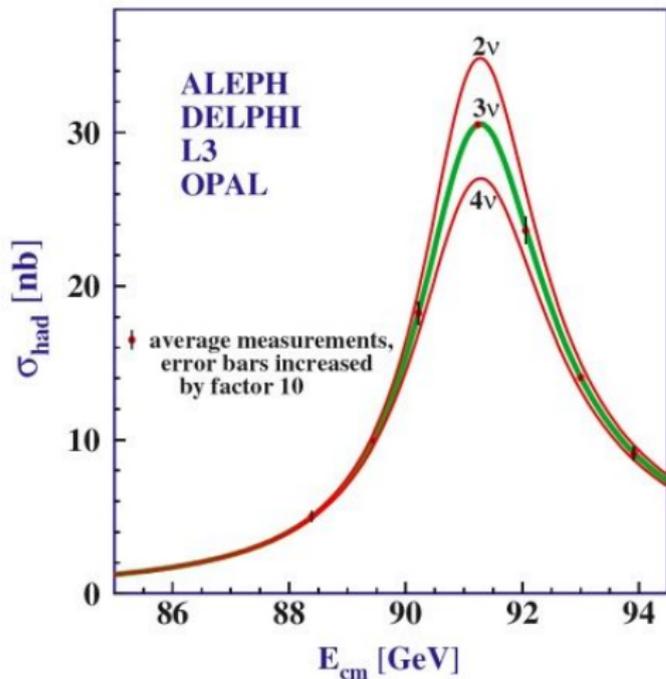
Run Number: 160613, Event Number: 9209492

Date: 2010-08-03 02:12:37 CEST

## $Z \rightarrow \tau\tau$ Candidate in 7 TeV Collisions



## La masse invariante du $Z$ et le nombre de familles

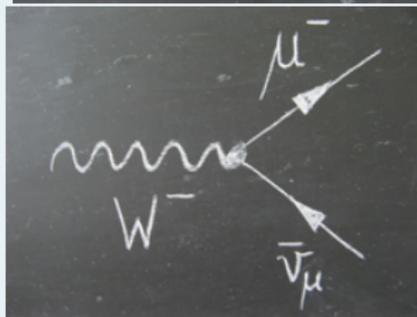
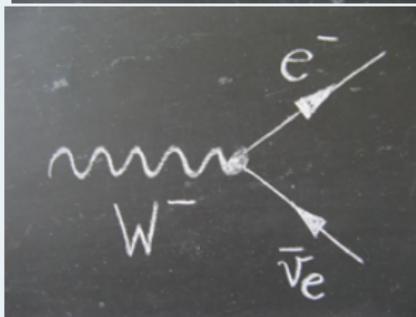
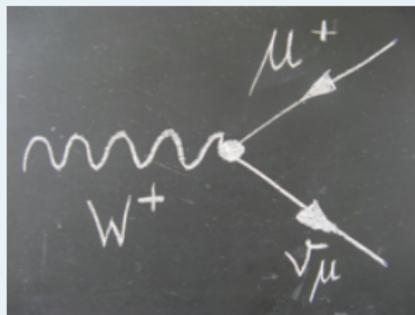
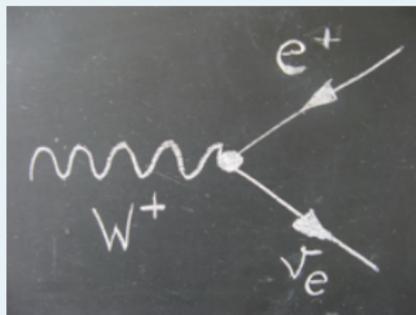


- Mesure faite au LEP, ancêtre du LHC, dans le même tunnel (collisions  $e^+e^-$ )
- Mesure de grande précision
- Données compatibles avec 3 générations de neutrinos
- Masse du  $Z$ :  
 $91.1876 \pm 0.0021$  GeV
- La largeur du pic augmente avec le nombre de désintégrations possibles

## Kesako ?

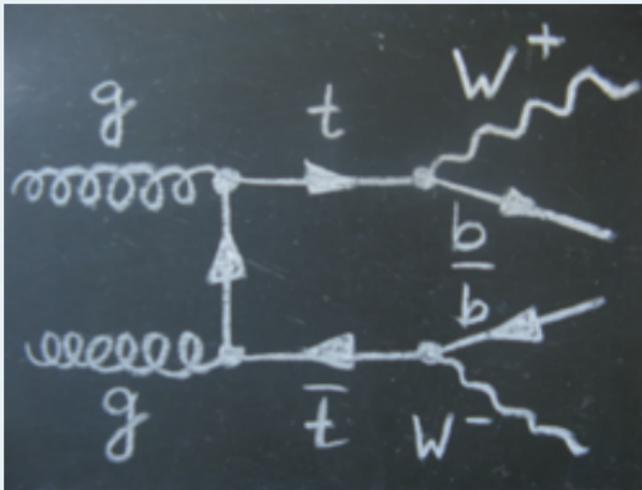
- Signature similaire à ce que l'on cherche, mais venant d'une source différente
- Peut être un vrai processus qui fournit le même état final
- Ou bien dû au fait qu'une particule n'est pas vue dans le détecteur
  - par exemple s'échappe le long du faisceau
- Ou bien à une mauvaise reconstruction dans 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

## Production de $W$



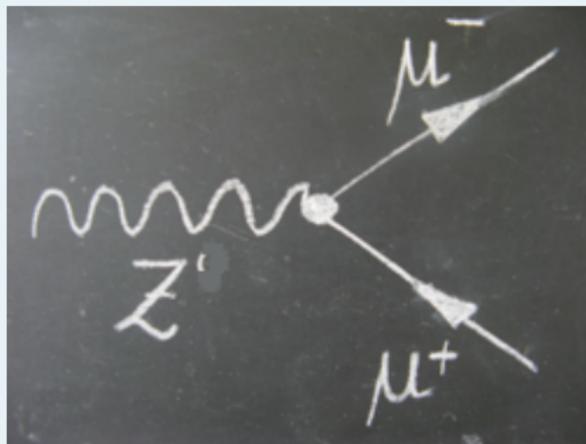
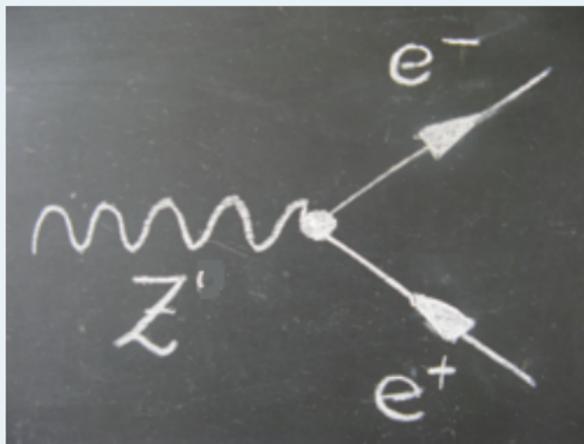
- Si un jet supplémentaire est pris pour un électron ou un muon, cela peut ressembler à un  $Z$
- Si on cherche des événements  $W$ , alors les  $Z$  peuvent être un bruit de fond !

## Production de $t\bar{t}$



- $pp \rightarrow t\bar{t} \rightarrow W^+ b W^- b \rightarrow e\nu b e\nu b$ : deux électrons  $\Rightarrow Z \rightarrow ee?$
- $pp \rightarrow t\bar{t} \rightarrow W^+ b W^- b \rightarrow \mu\nu b \mu\nu b$ : deux muons  $\Rightarrow Z \rightarrow \mu\mu?$

## Observer des bosons $Z'$



- Comme le  $Z$ , mais plus lourd
- Jamais observé, mais quelques événements simulés ont été rajoutés dans les données à analyser

**Amusez-vous bien**  
cet après-midi !

Nos présentations

<http://indico.in2p3.fr/event/4726>

ATLAS grand public 

<http://atlas.ch>

ATLAS en direct

<http://atlas-live.cern.ch>

ATLAS sur 

<http://twitter.com/ATLASexperiment>

ATLAS sur 

<http://www.youtube.com/theATLASExperiment>

Le site français du LHC

<http://www.lhc-france.fr>

Le CPPM 

<http://marwww.in2p3.fr>

Le CERN 

<http://cern.ch>

Le CERN sur 

<http://twitter.com/cern>