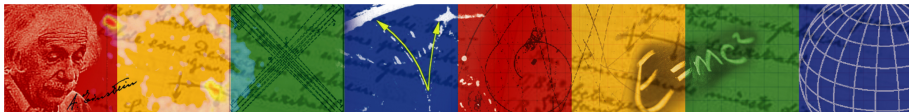


Détection de particules dans l'expérience ATLAS

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

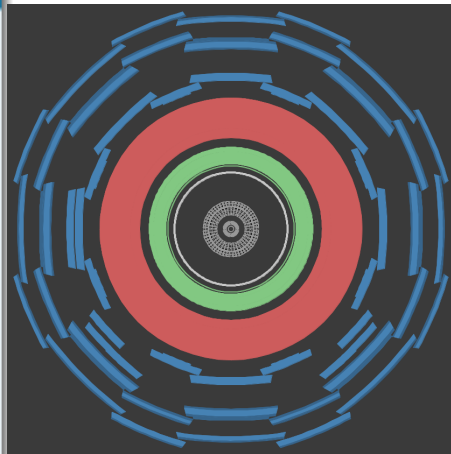
- Interactions entre particules accélérées (ou leurs constituants)
- Se produisent au centre d'un détecteur
- Etat final: particules suffisamment stables pour atteindre le détecteur (e, γ, μ, π, p , etc.)

Interprétation

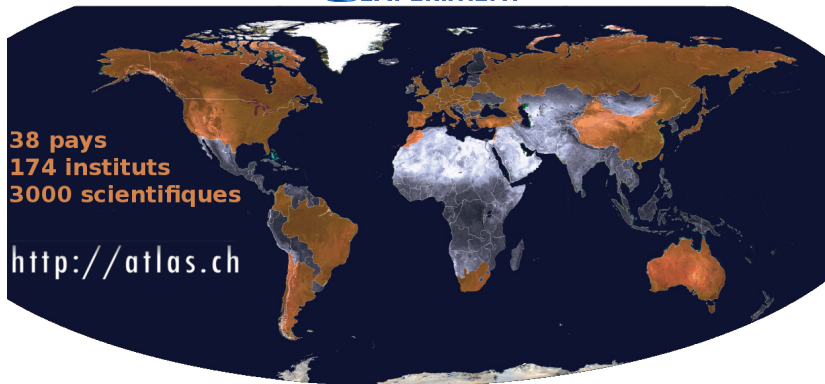
- Combiner les informations du détecteur pour former des objets
- A partir de ces objets, inférer ce qu'il s'est passé dans la collision
- Comparer avec les prédictions théoriques

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

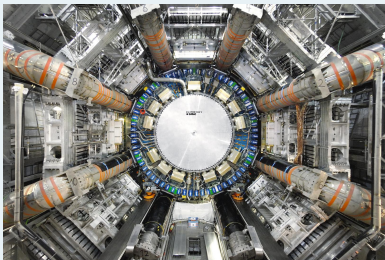


Quelques chiffres

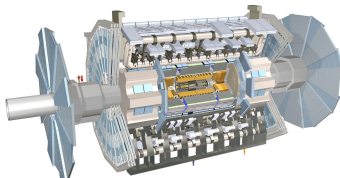
<http://atlas.ch>

- 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)

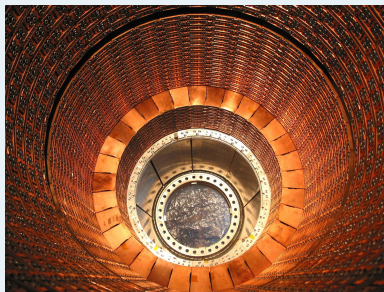
Une idée de la taille en animation



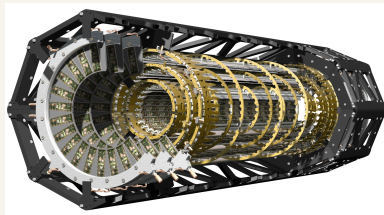
Comment ça marche ?



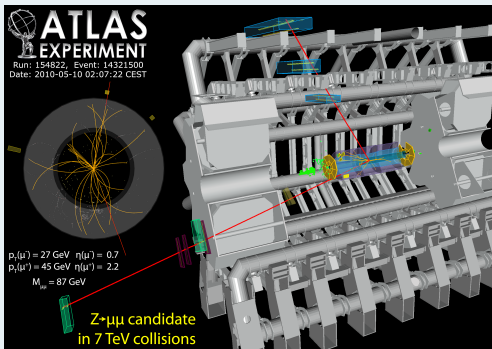
Calorimètre électromagnétique



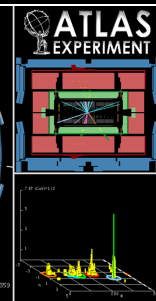
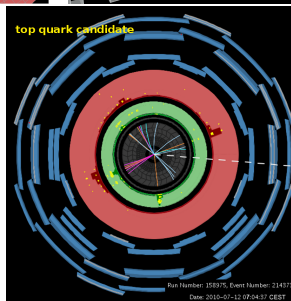
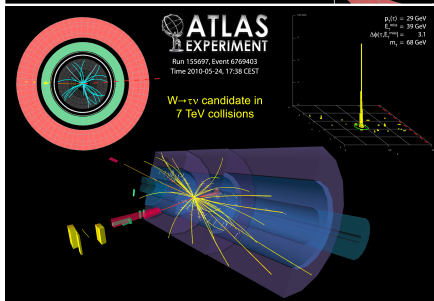
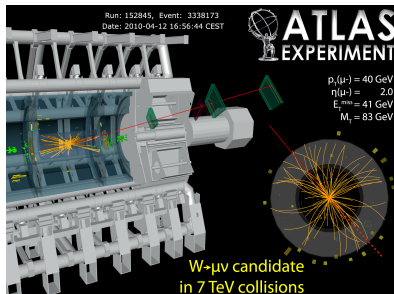
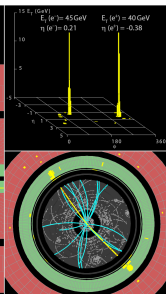
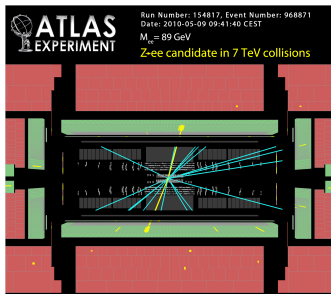
Détecteur à pixels



Evénement $Z \rightarrow \mu\mu$ en film

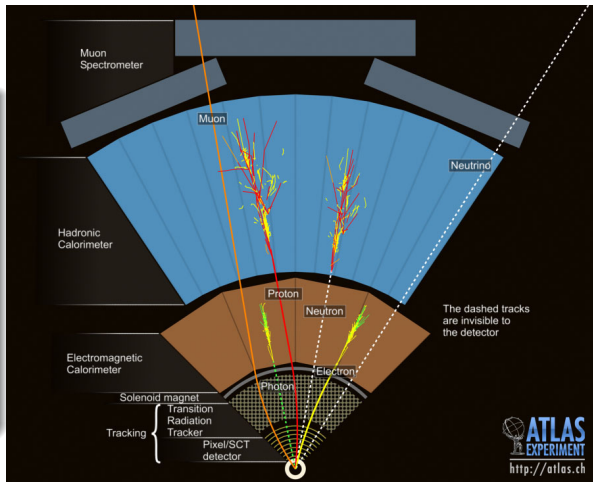


Le modèle standard redécouvert : LHC 2010 !

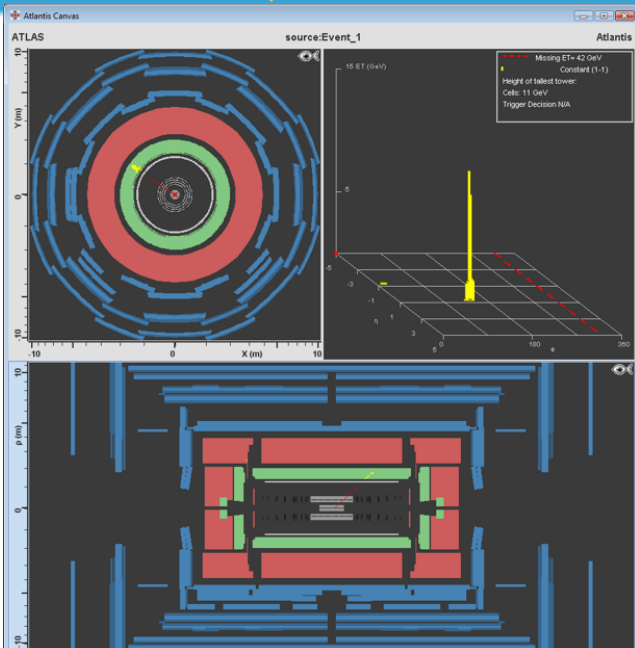


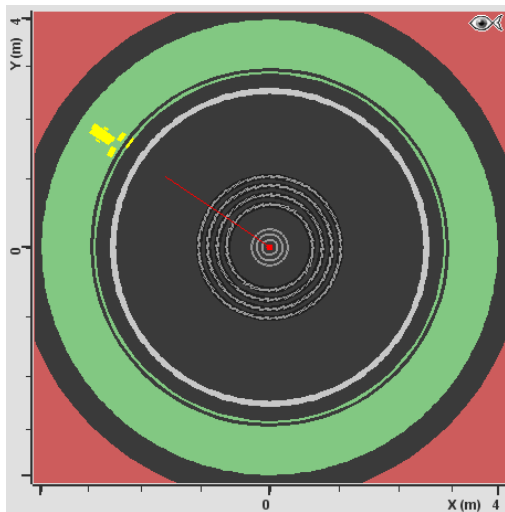
Electron et positron

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

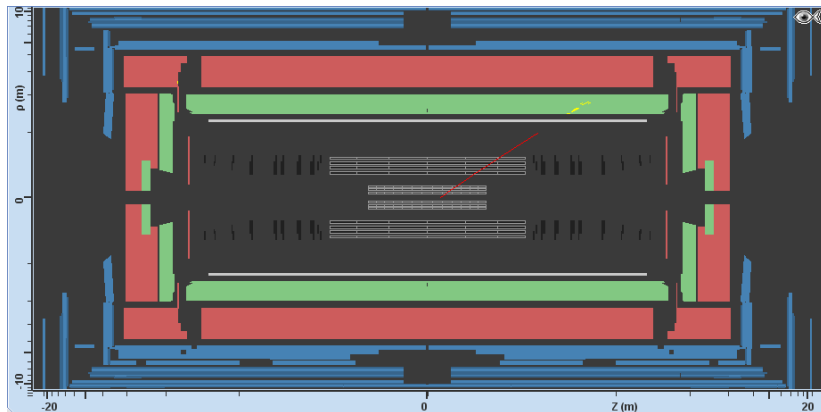


Identifier un electron/positron avec Hypatia





- 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:** A plot titled "source:Minerva1" showing a 3D view of the track and a 2D projection. A legend indicates: "Missing ET= 42 GeV", "Constant (1-1)", "Height of label tower", "Cells: 11 GeV", and "Trigger Decision NA".
- Bottom Left:** A detailed 3D view of the ATLAS detector geometry with the track highlighted.
- Right Panel:** The 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".

name	Value
<input checked="" type="checkbox"/> Status	
<input checked="" type="checkbox"/> InDet	
<input checked="" type="checkbox"/> Calo	
<input checked="" type="checkbox"/> MuonDet	
<input checked="" type="checkbox"/> Objects	

Below the table, the text "Welcome to Atlantis !" and "Minerva1.xml (10602000326459)" are visible.

- 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)

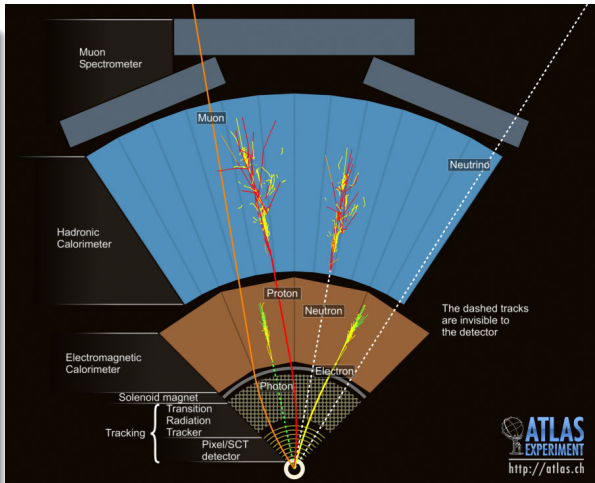
InDetTrack index: 0
PT=-42.776 GeV
η = 0.753
Φ = 145.562°
Px=-35.279 GeV
Py=24.191 GeV
Pz=35.368 GeV
numPixelHits = 3
numSCTHits = 9
numTRTHits = 19
```

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

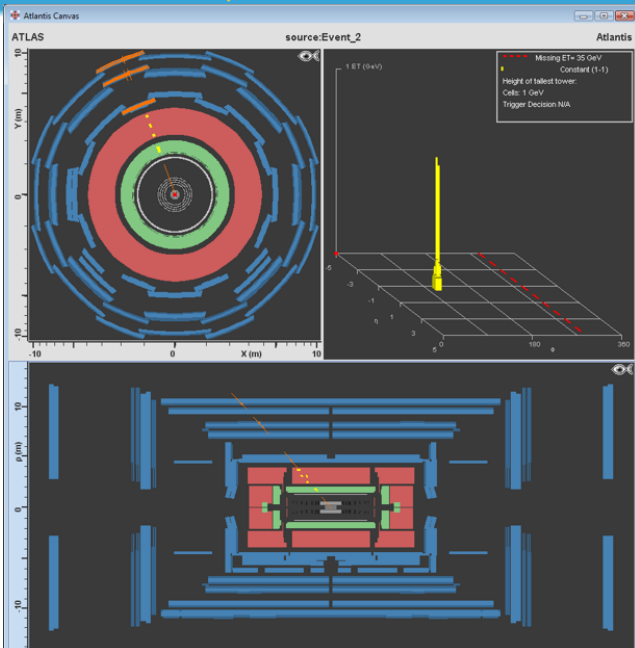
Muon et antimuon

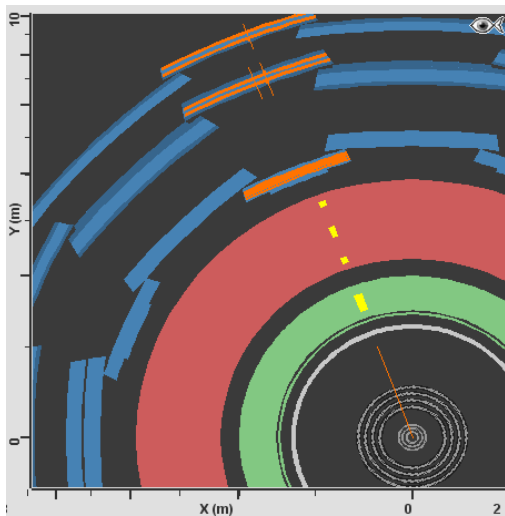
- Particule chargée : trace dans le trajectographe
- \ominus = muon,
 \oplus = antimuon
- Un peu d'énergie dans les calorimètres
- Trace dans le détecteur à muons
- Continue sa course à l'extérieur d'ATLAS



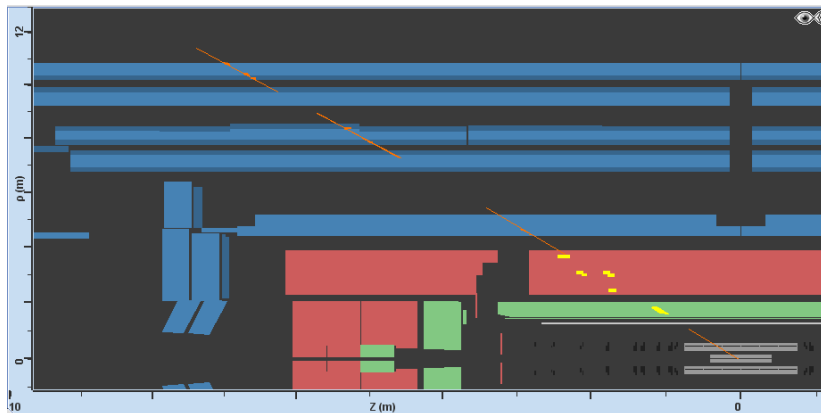


Identifier un muon/antimuon avec Hypatia



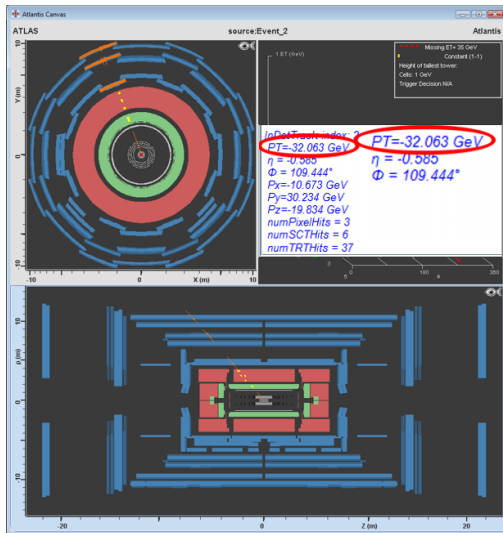


- Trace dans le trajectographe et le système des muons
- Un peu d'énergie dans les calorimètres



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

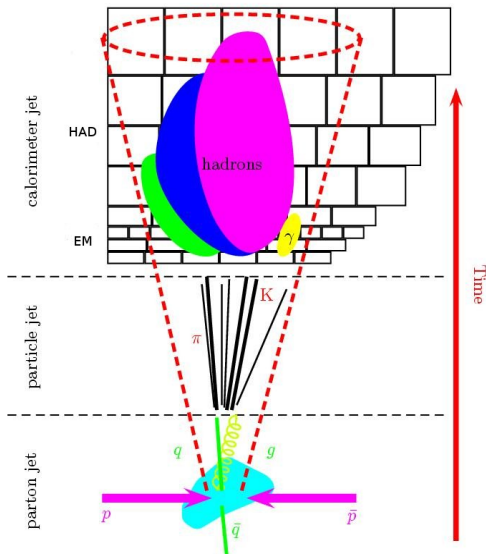
Identifier un muon/antimuon avec Hypatia



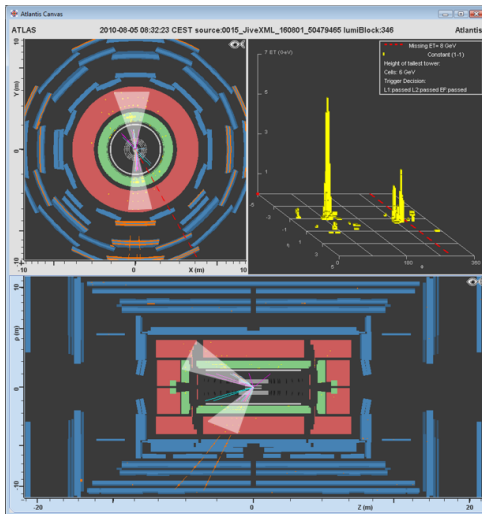
• $p_T \ominus \Rightarrow c'$ est un muon

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

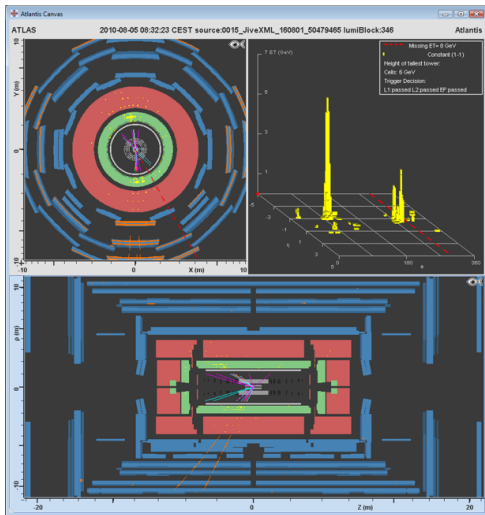


Identifier un jet avec Hypatia



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

Identifier un jet avec Hypatia



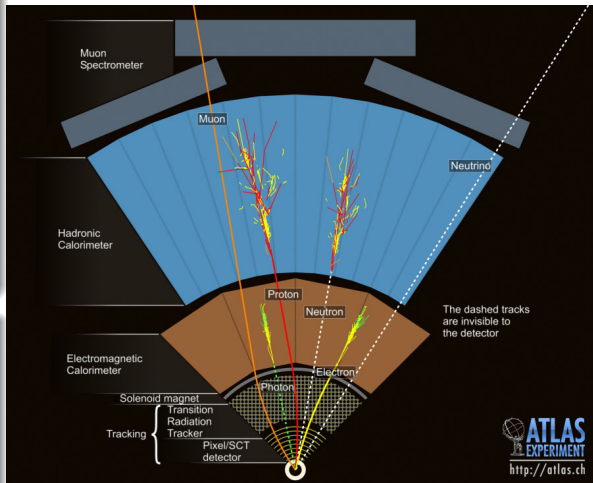
- Nombreuses particules \Rightarrow nombreuses traces
- Dépôts d'énergie des les calorimètres (surtout hadronique)

Proton/antiproton/pion

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

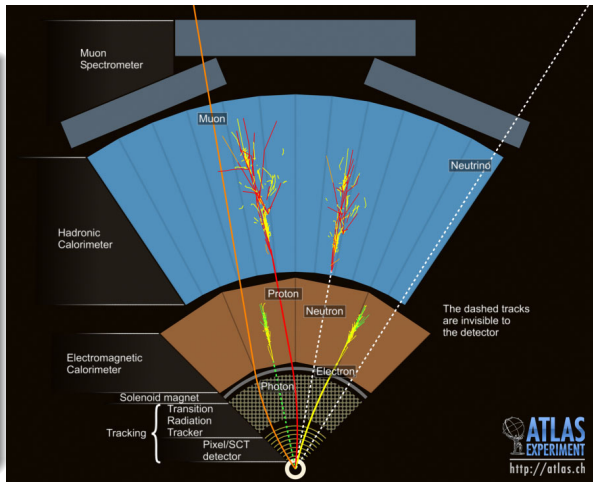
Neutron

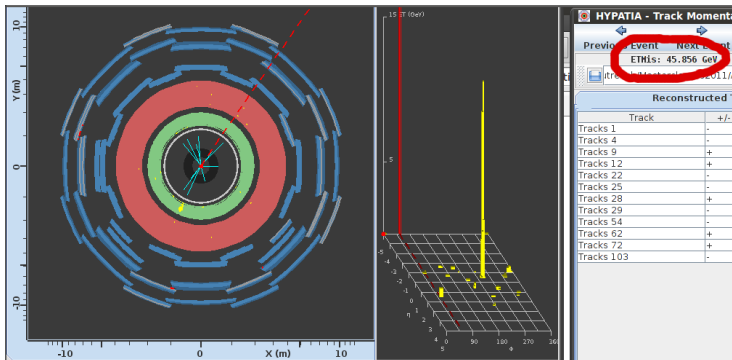
- Particule neutre : pas de trace dans le trajectographe
- Gerbe dans le calorimètre hadronique



Neutrinos

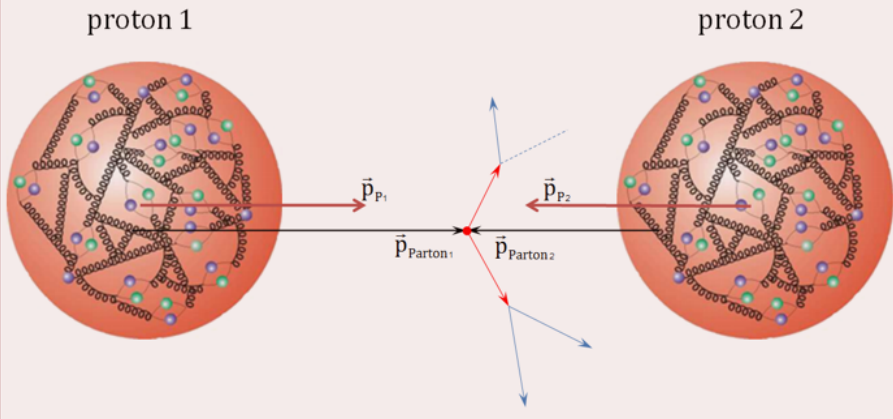
- Particule neutre qui n'interagit presque pas avec la matière
- \Rightarrow aucune trace dans le détecteur !
- Identifié par induction, par le principe de conservation de l'impulsion





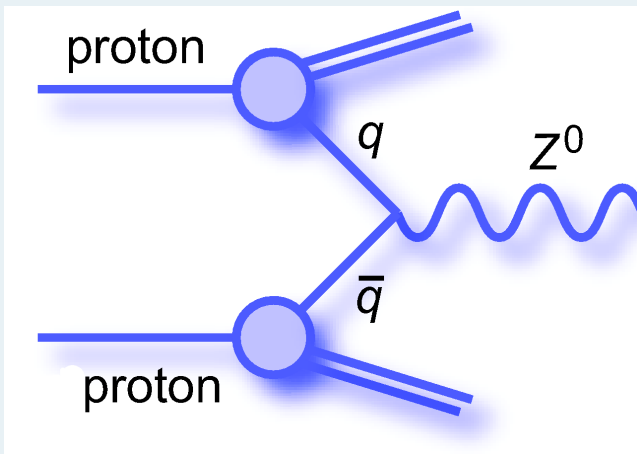
- Par conservation, la somme des impulsions dans le plan transversal vaut 0
- Sinon, “énergie transverse manquante (Missing E_T , ETMis)” : particules indétectables (comme les neutrinos), non détectées ou mal mesurées (personne n’est parfait)
- Représenté par la ligne pointillée rouge, valeur en haut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

... et eurent beaucoup d'enfants !



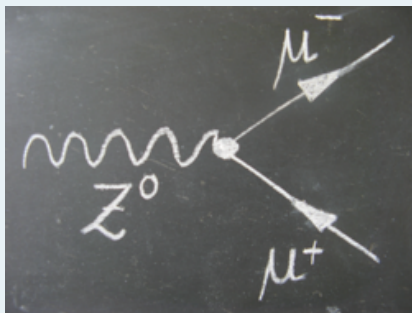
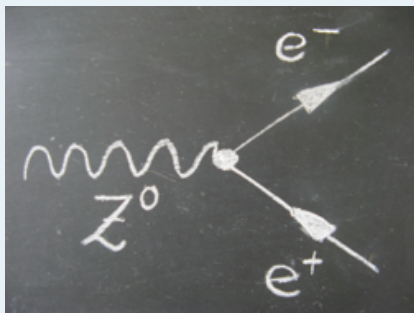
- Collision proton–proton = collision entre constituants (quarks et/ou gluons)

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

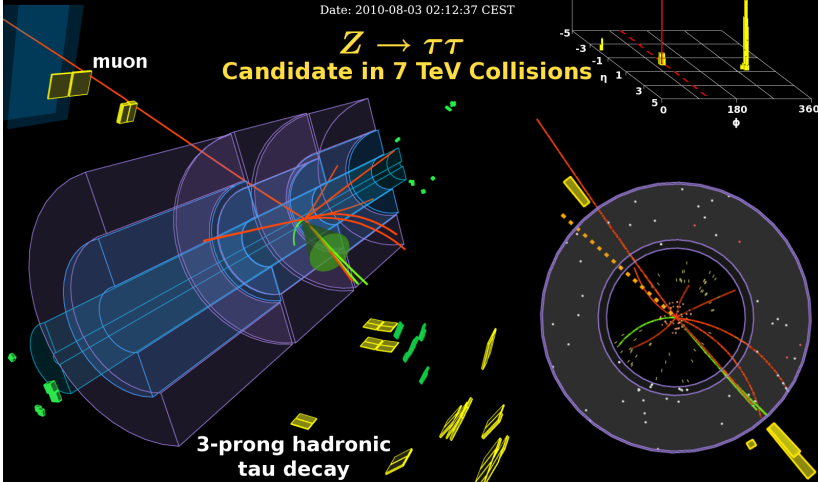
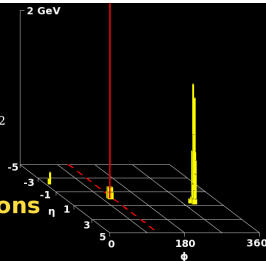
$p_T(\mu) = 18 \text{ GeV}$
 $p_T^{\text{vis}}(\tau_h) = 26 \text{ GeV}$
 $m_{\text{vis}}(\mu, \tau_h) = 47 \text{ GeV}$
 $m_T(\mu, E_T^{\text{miss}}) = 8 \text{ GeV}$
 $E_T^{\text{miss}} = 7 \text{ GeV}$



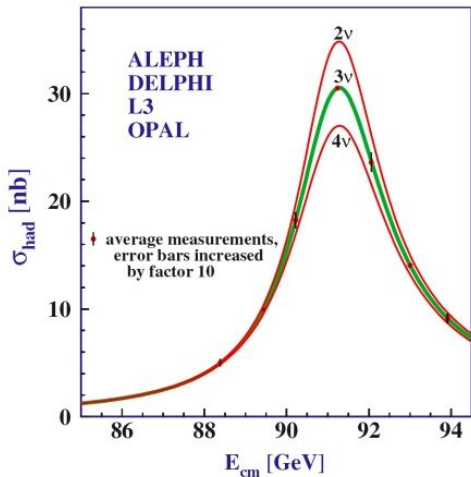
Run Number: 160613, Event Number: 9209492

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

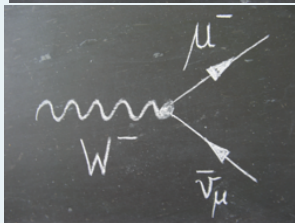
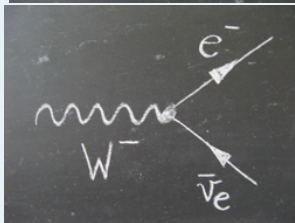
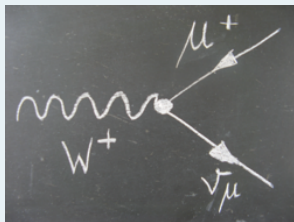
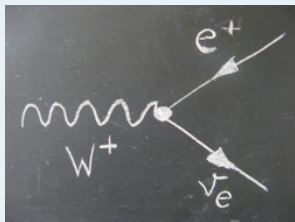


- Mesure faite au LEP, ancêtre du LHC, dans le même tunnel (collisions e^+e^-)
- Mesure de grande précision
- Données compatibles avec 3 générations de neutrinos
- Masse du Z :
 91.1876 ± 0.0021 GeV
- La largeur du pic augmente avec le nombre de désintégrations possibles

Kesako ?

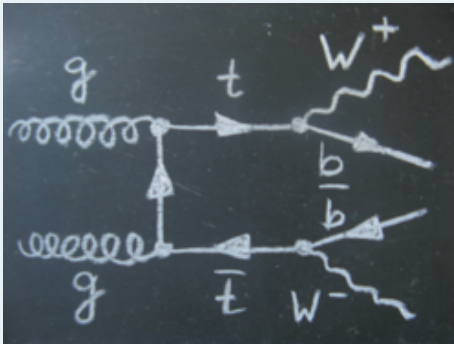
- Signature similaire à ce que l'on cherche, mais venant d'une source différente
- Peut être un vrai processus qui fournit le même état final
- Ou bien dû au fait qu'une particule n'est pas vue dans le détecteur
 - par exemple s'échappe le long du faisceau
- Ou bien à une mauvaise reconstruction dans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



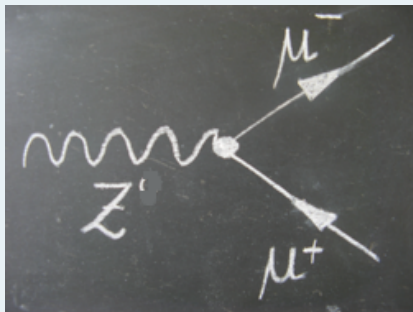
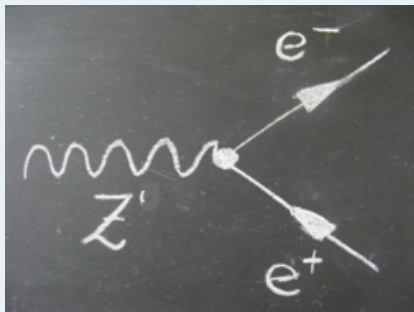
- Si un jet supplémentaire est pris pour un électron ou un muon, cela peut ressembler à un Z
- Si on cherche des événements W , alors les Z peuvent être un bruit de fond !

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>