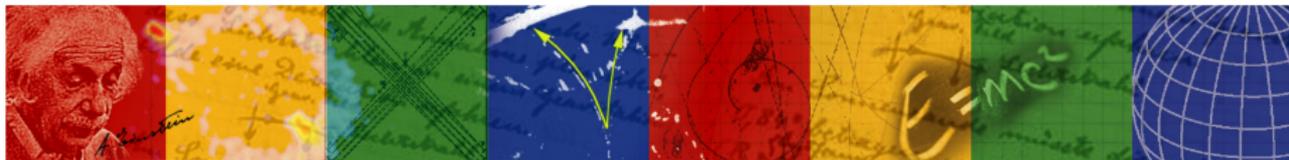


# Détection de particules dans l'expérience ATLAS

Yann Coadou

CPPM Marseille

CERN Masterclasses, Lycée Montgrand  
4 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

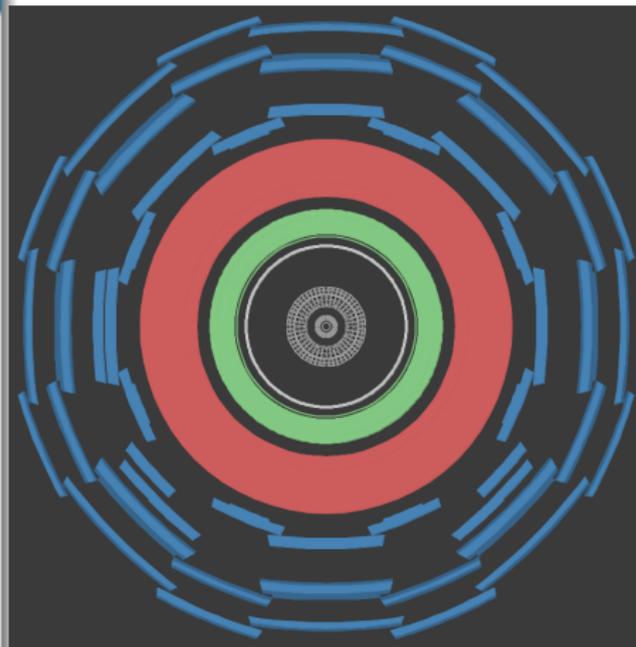
- Interactions entre particules accélérées (ou leurs constituants)
- Se produisent au centre d'un détecteur
- Etat final: particules suffisamment stables pour atteindre le détecteur ( $e, \gamma, \mu, \pi, p$ , etc.)

## 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

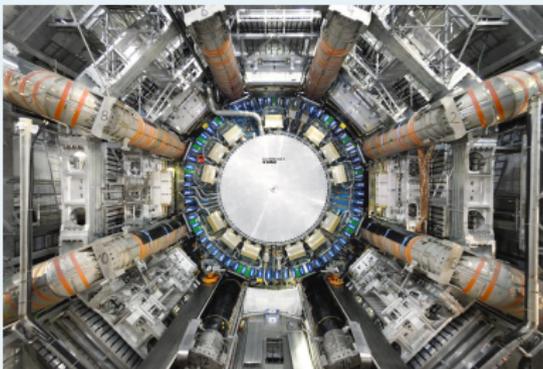
## Un oignon

- **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

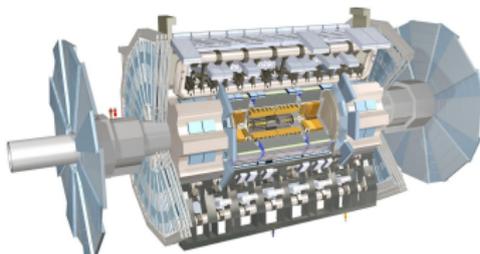


coupe transversale d'ATLAS

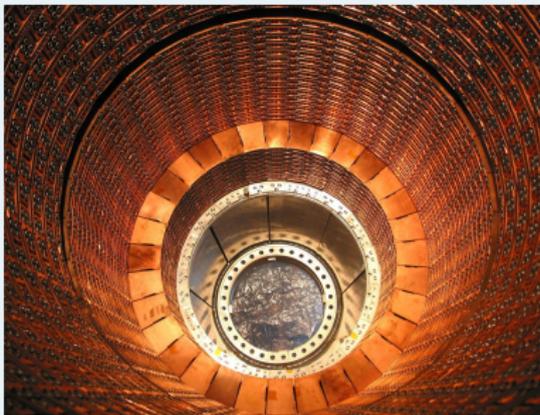
## Une idée de la taille en animation



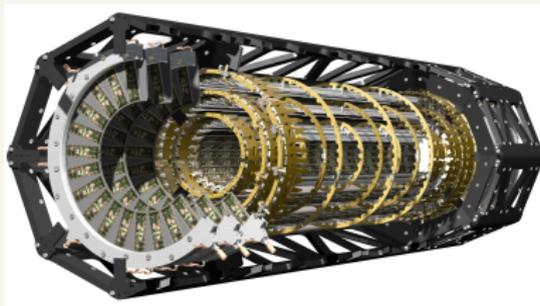
## Comment ça marche ?



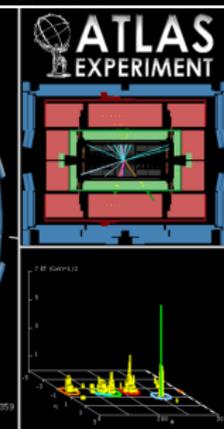
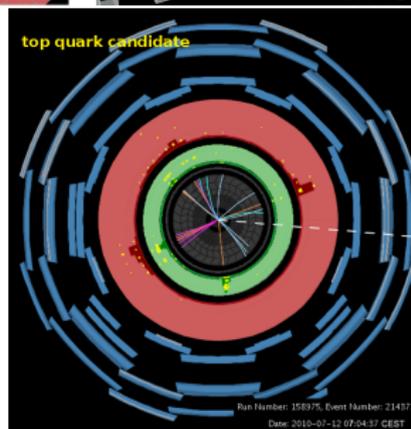
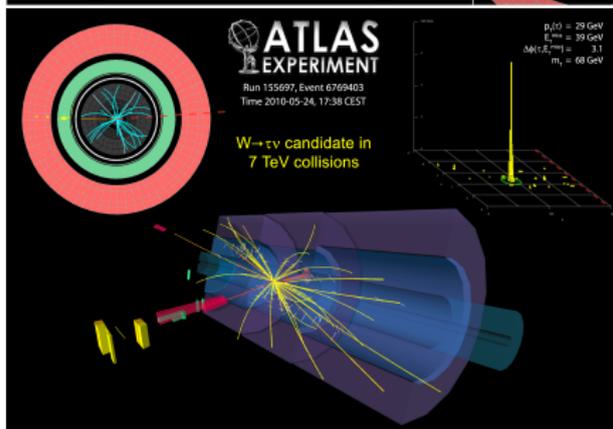
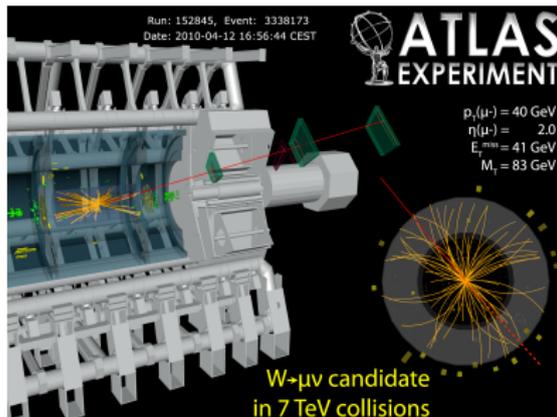
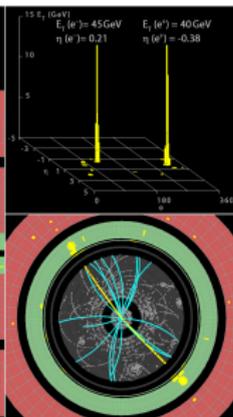
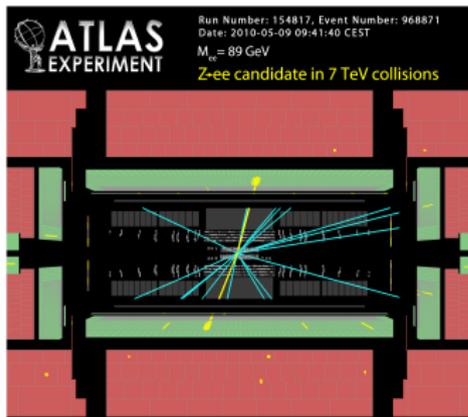
## Calorimètre électromagnétique



## Détecteur à pixels

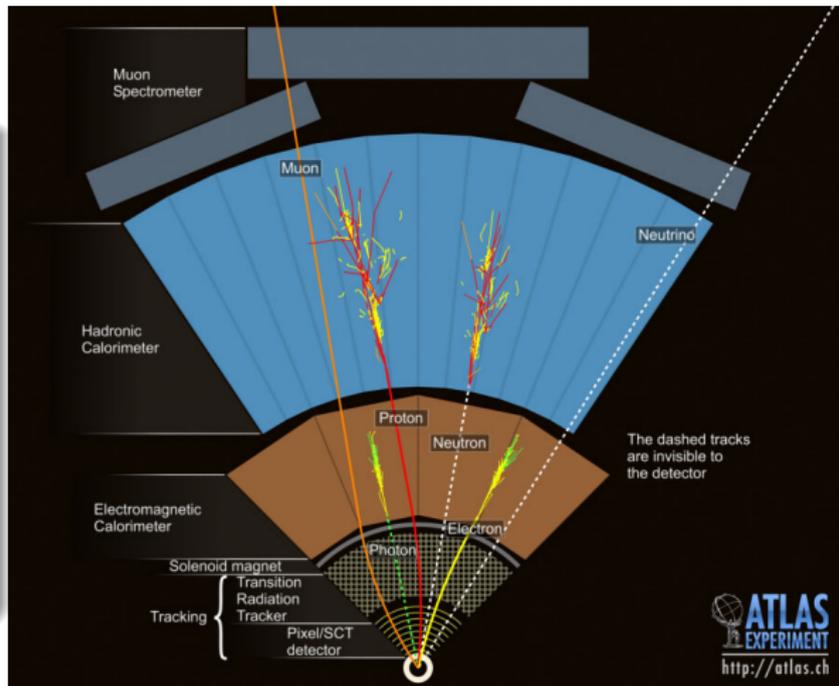


# Le modèle standard redécouvert : LHC 2010 !

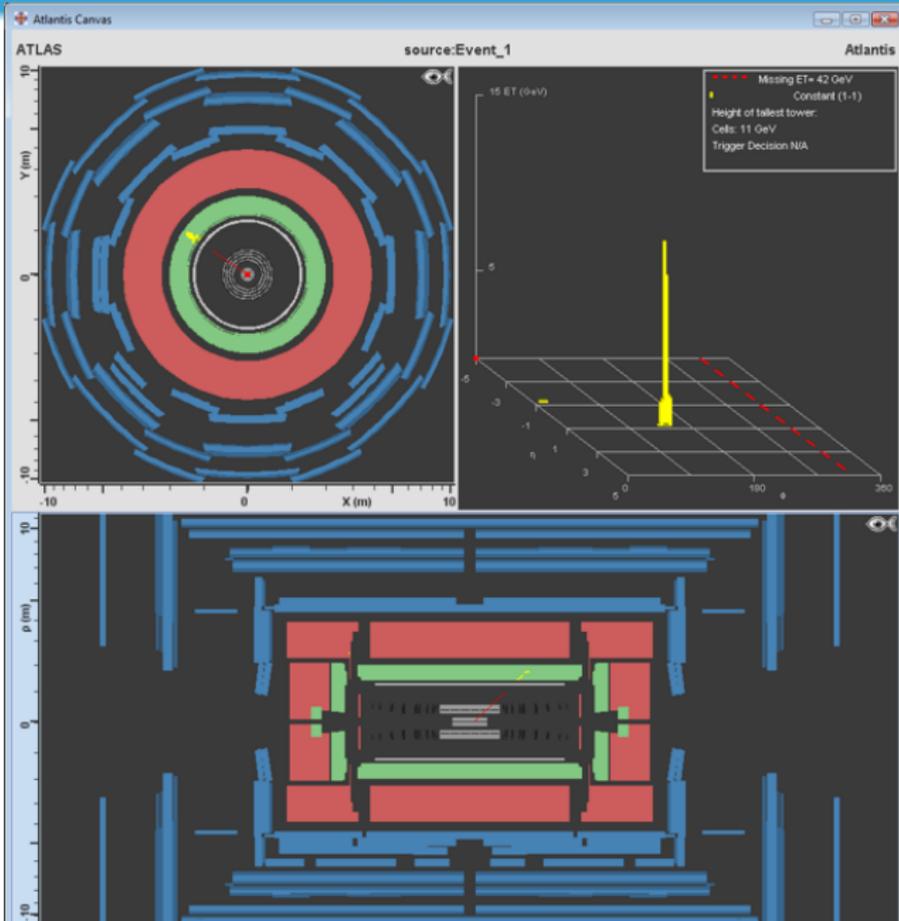


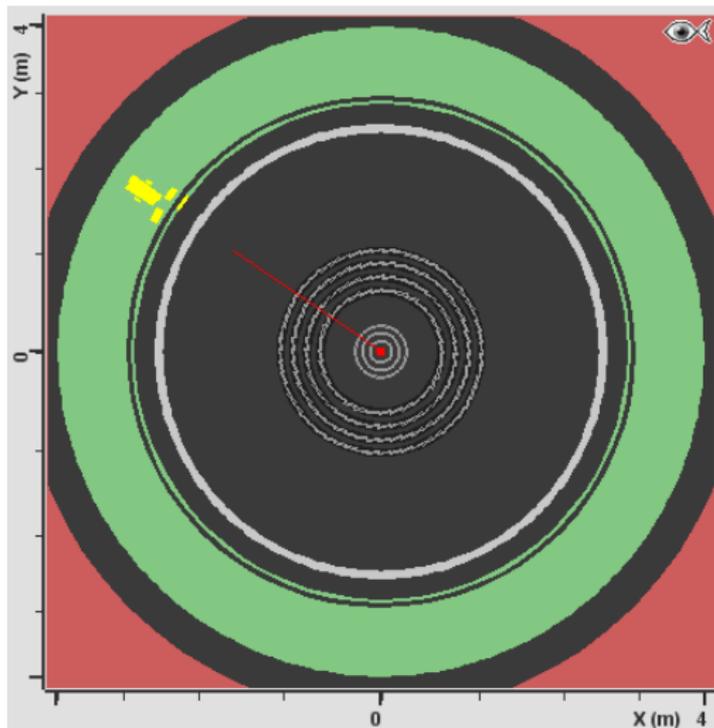
## Electron et positron

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

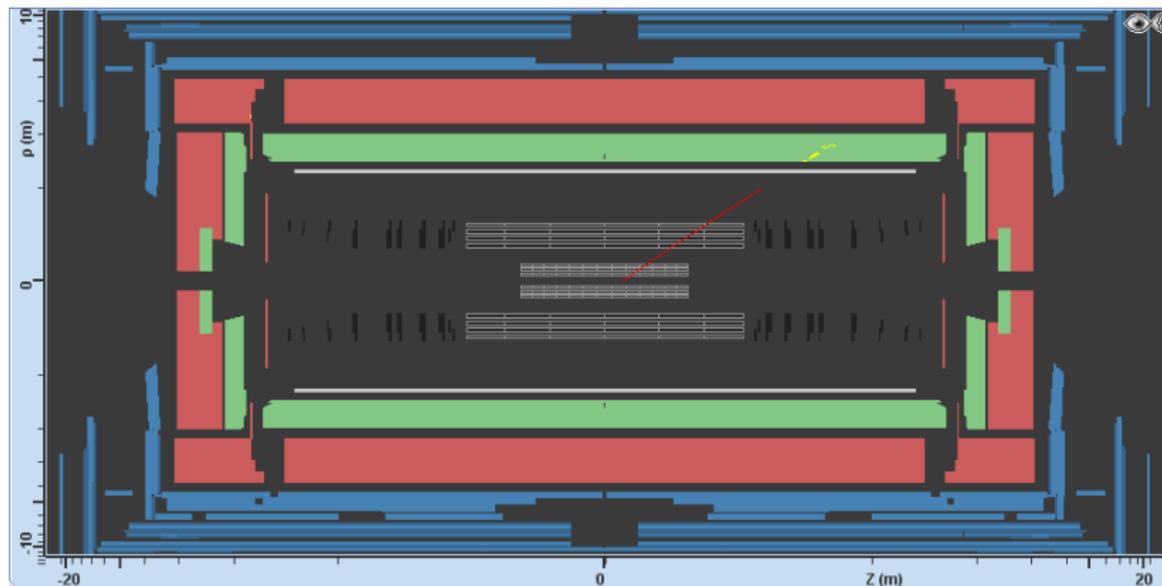


# Identifier un electron/positron avec Minerva





- Trace dans le trajectographe
- Energie dans le calorimètre électromagnétique



- Trace dans le trajectographe
- Energie dans le calorimètre électromagnétique

# Identifier un electron/positron avec Minerva

The screenshot displays the Atlantis GUI interface. On the left, the ATLAS detector is shown in three views: a top-down view of the calorimeter (ATLAS Canvas), a 3D plot of the event (source.Minerva1) with a yellow track, and a longitudinal view of the detector (Z view). On the right, the Minerva GUI is open, showing a toolbar with a hand icon highlighted by a red box and arrow. Below the toolbar is a table with columns 'name' and 'Value'. At the bottom, a text area displays the message 'Welcome to Atlantis !' and the file path 'Minerva1.xml (10602000326459)'.

name	Value
Status	
InDet	
Calo	
MuonDet	
Objects	

Welcome to Atlantis !  
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)

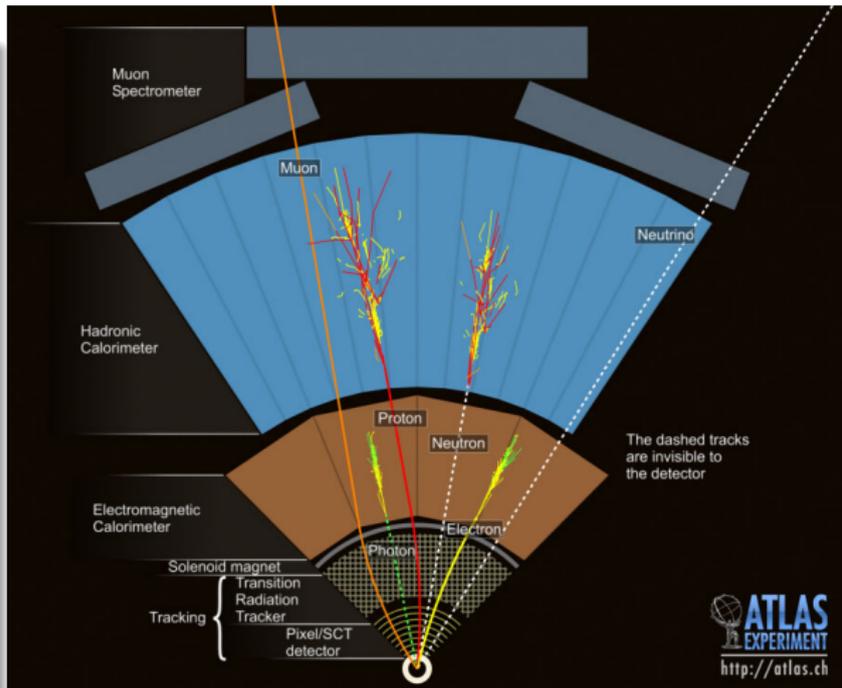
InDetTrack index: 0
PT=-42.776 GeV
η = 0.753
Φ = 145.562°
Px=-35.279 GeV
Py=24.191 GeV
Pz=35.368 GeV
numPixelHits = 3
numSCTHits = 9
numTRTHits = 19
```

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

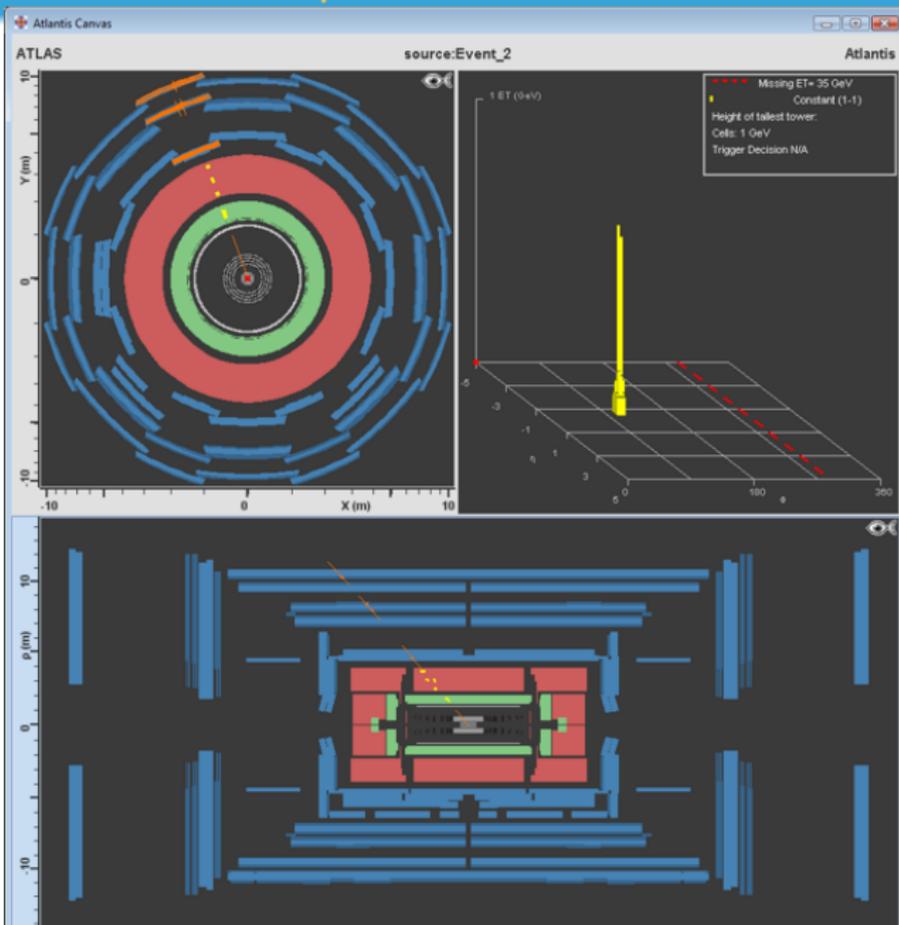
## Muon et antimuon

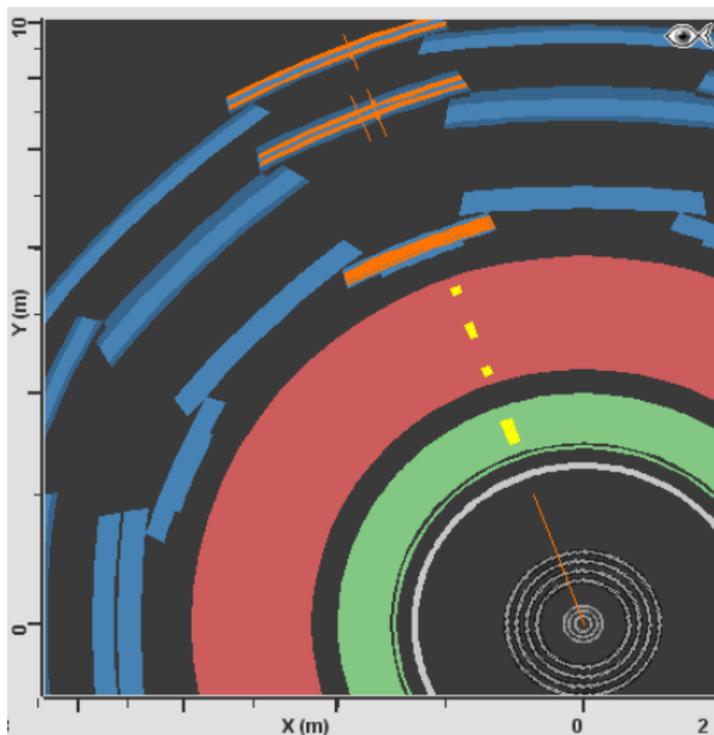
- Particule chargée : trace dans le trajectographe
- $\ominus$  = muon,  
 $\oplus$  = antimuon
- Un peu d'énergie dans les calorimètres
- Trace dans le détecteur à muons
- Continue sa course à l'extérieur d'ATLAS



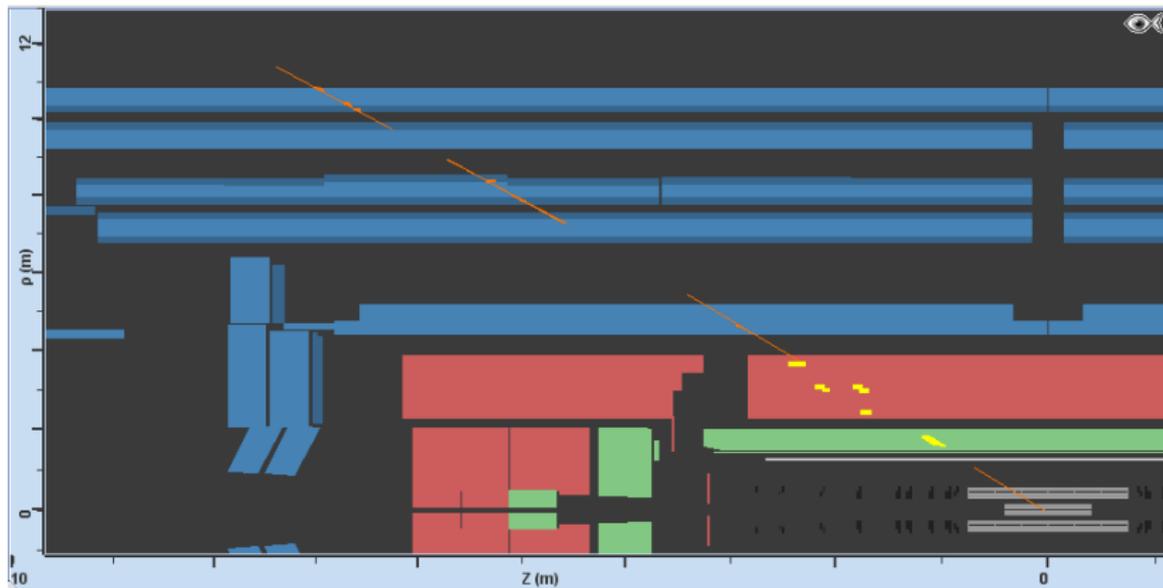


# Identifier un muon/antimuon avec Minerva



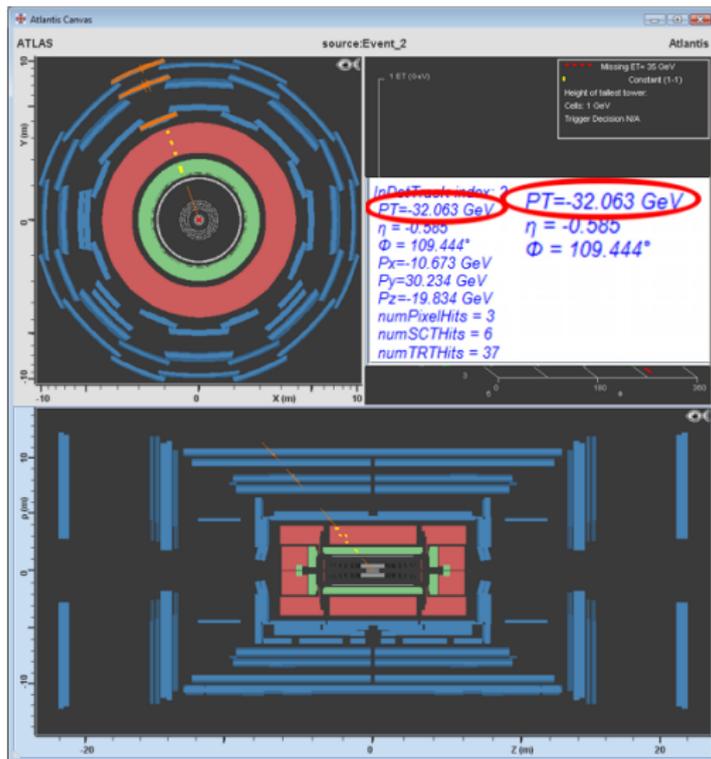


- Trace dans le trajectographe et le système des muons
- Un peu d'énergie dans les calorimètres



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

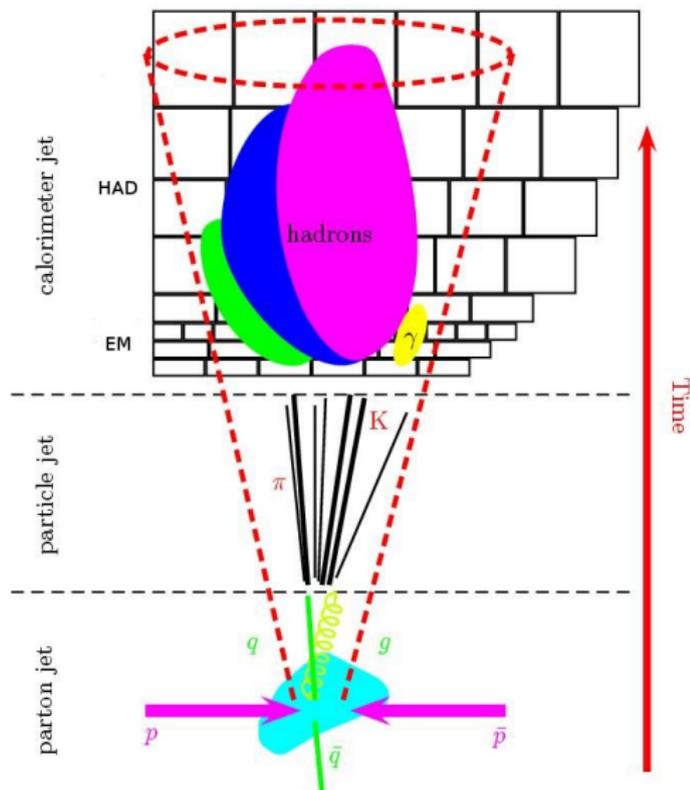
# Identifier un muon/antimuon avec Minerva

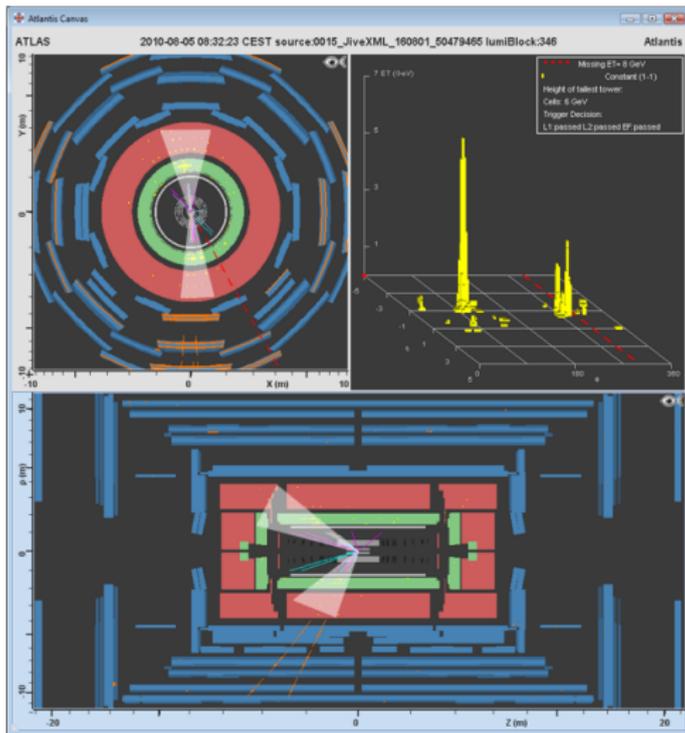


•  $p_T \ominus \Rightarrow c'$  est un muon

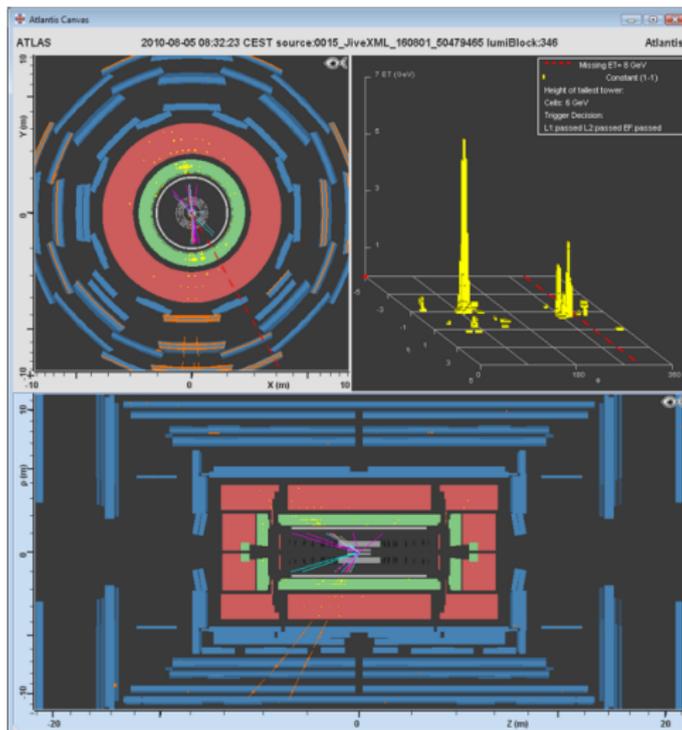
## Quarks, antiquarks et gluons

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





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



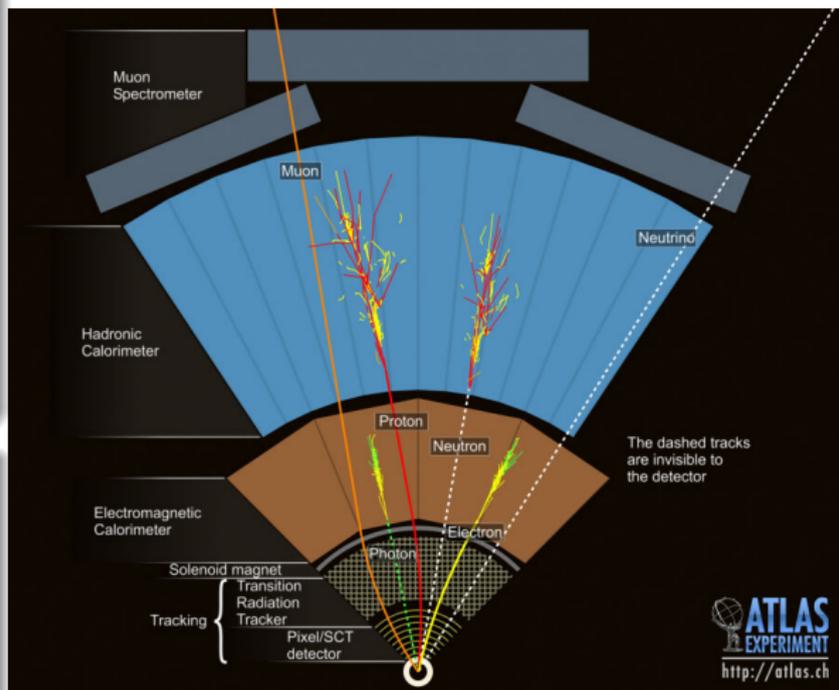
- Nombreuses particules  $\Rightarrow$  nombreuses traces
- Dépôts d'énergie des les calorimètres (surtout hadronique)

## Proton/antiproton

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

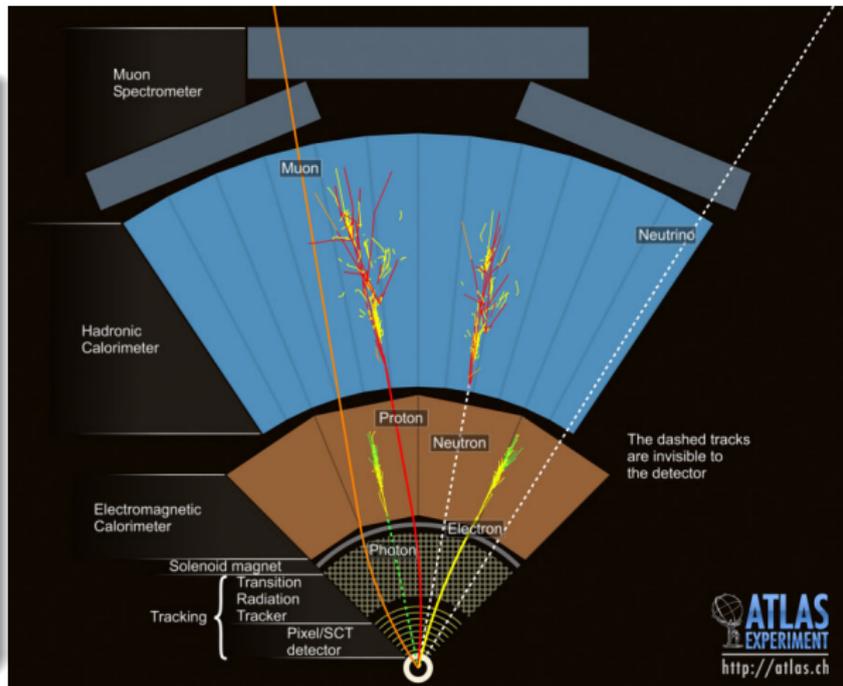
## Neutron

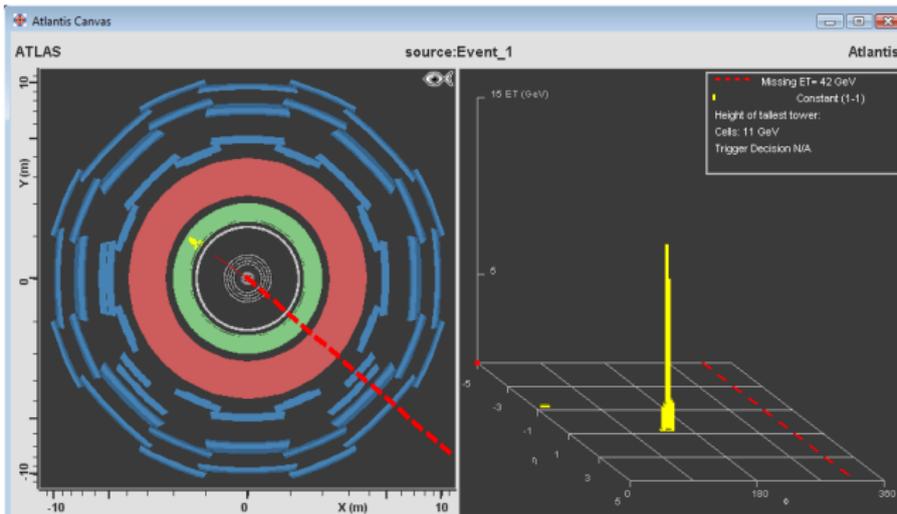
- Particule neutre : pas de trace dans le trajectographe
- Gerbe dans le calorimètre hadronique



## Neutrinos

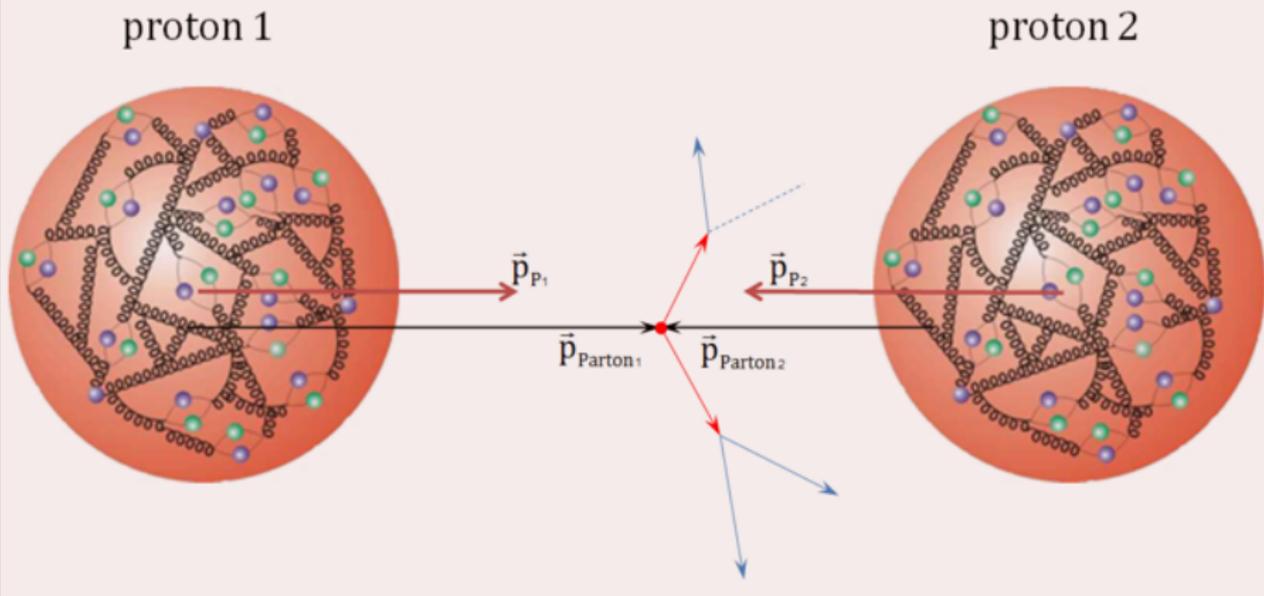
- Particule neutre qui n'interagit presque pas avec la matière
- $\Rightarrow$  aucune trace dans le détecteur !
- Identifié par induction, par le principe de conservation de l'impulsion





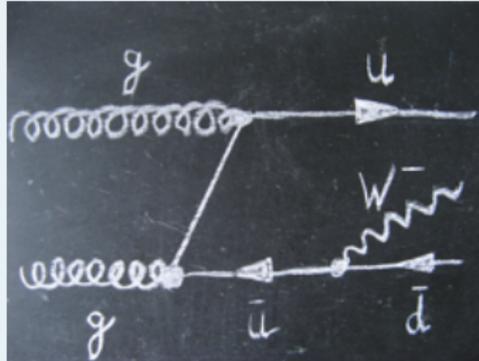
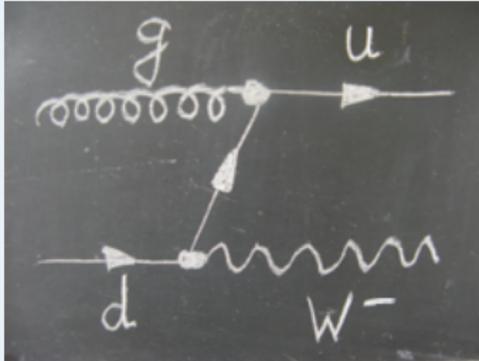
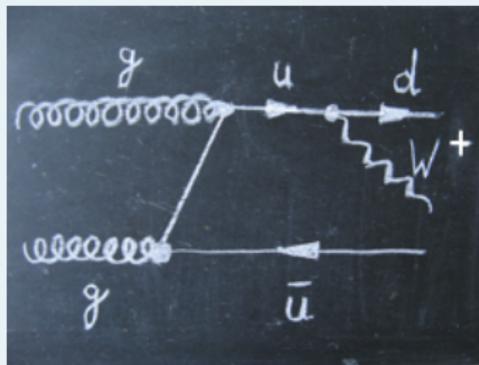
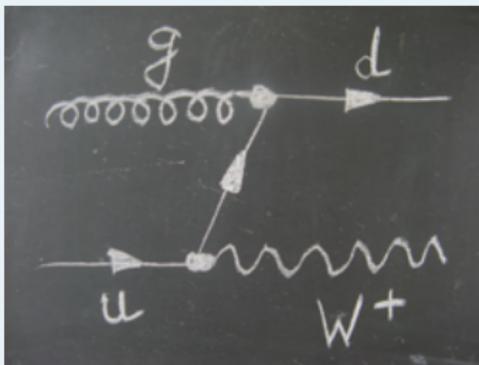
- Par conservation, la somme des impulsions dans le plan transversal vaut 0
- Sinon, “énergie transverse manquante (Missing  $E_T$ )” : particules indétectables (comme les neutrinos), non détectées ou mal mesurées (personne n’est parfait)
- Représenté par la ligne pointillée rouge, valeur en haut à droite

... et eurent beaucoup d'enfants !



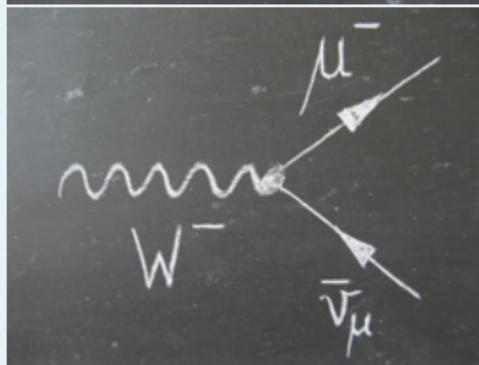
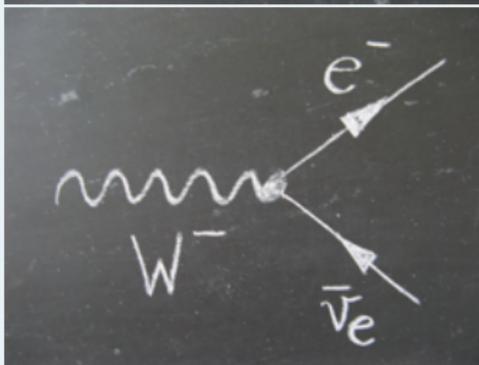
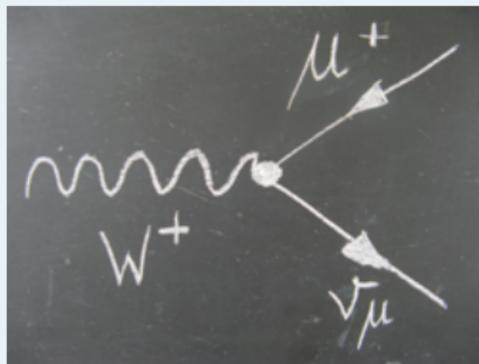
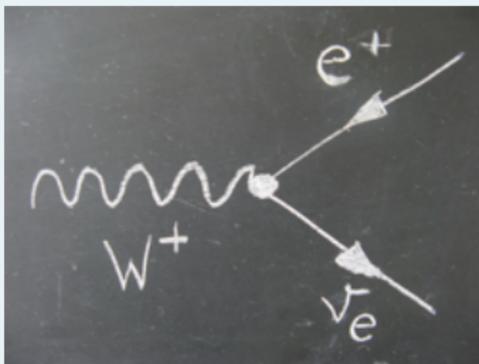
- Collision proton–proton = collision entre constituants (quarks et/ou gluons)

## Comment sont-ils produits ?

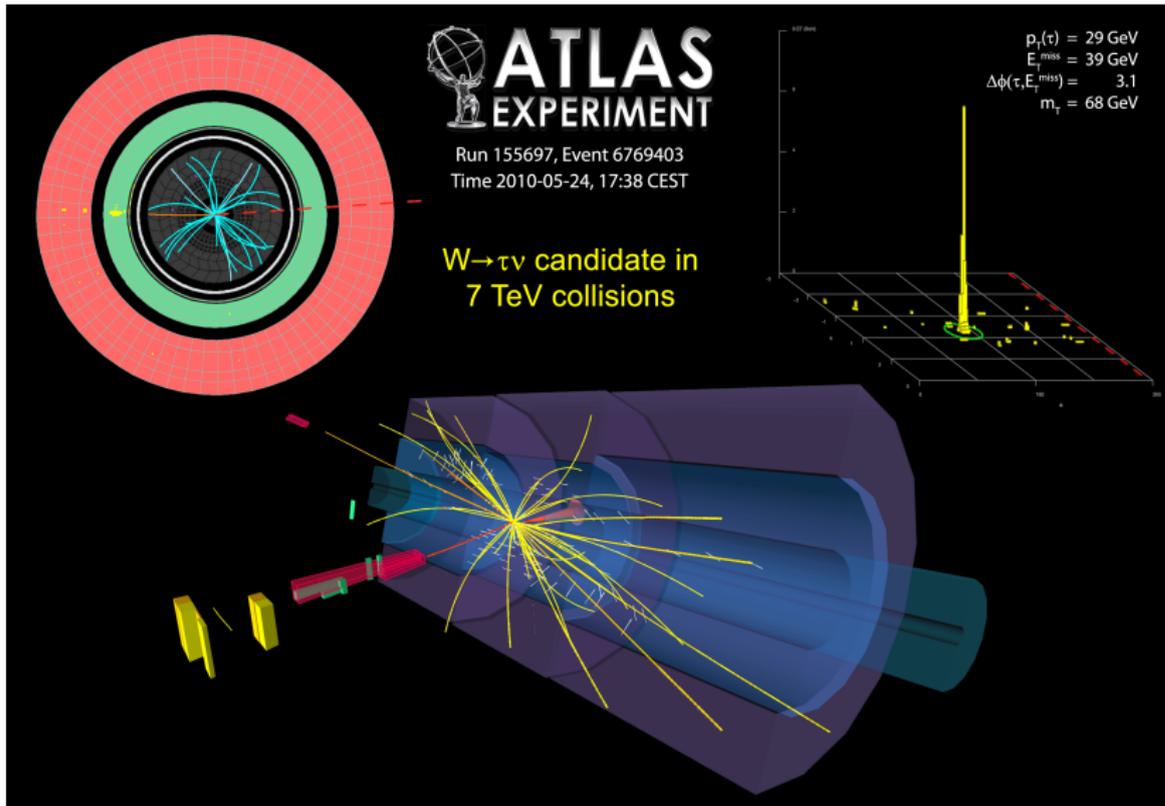


- Les quarks produisent des jets

## Que leur arrive-t-il ?



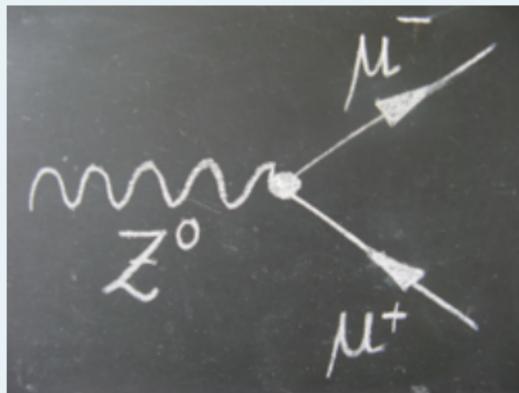
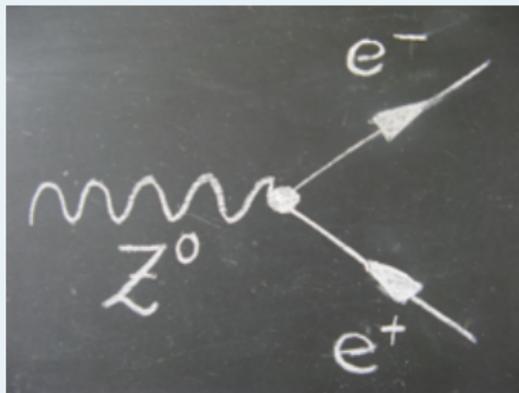
- Donne aussi des leptons tau, plus difficiles à identifier



## Kesako ?

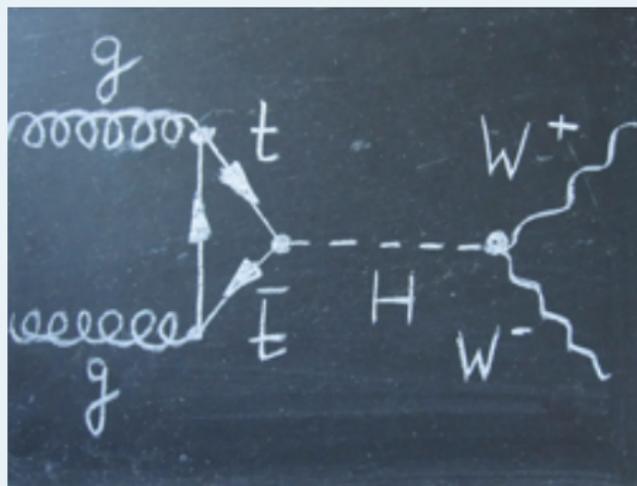
- Signature similaire à ce que l'on cherche, mais venant d'une source différente
- Peut être un vrai processus qui fournit le même état final
- Ou bien dû au fait qu'une particule n'est pas vue dans le détecteur
  - par exemple s'échappe le long du faisceau
- Ou bien à une mauvaise reconstruction dans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



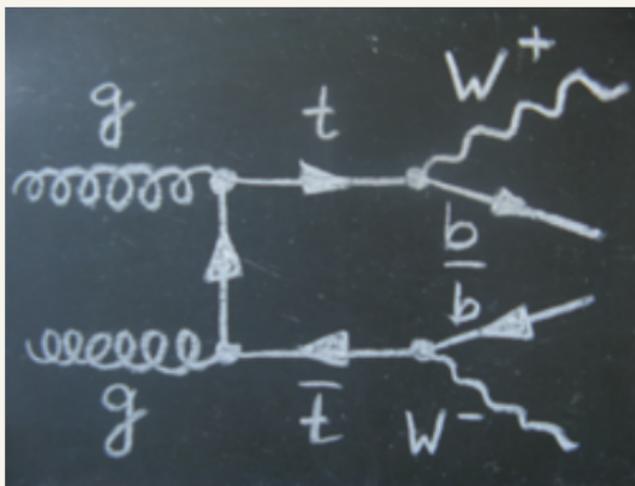
- Si on ne voit pas un des électrons ou muons, cela peut ressembler à des  $W$
- Si on cherche des événements  $Z$ , alors les  $W$  peuvent être un bruit de fond !

## Production de $H$



$$pp \rightarrow H \rightarrow W^+W^- \rightarrow e\nu\mu\nu$$

## Bruit de fond



$$pp \rightarrow t\bar{t} \rightarrow W^+bW^-b \rightarrow e\nu b\mu\nu b$$

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