

# Détection de particules dans l'expérience ATLAS

Yann Coadou

CPPM Marseille

Lycée Marcel Pagnol

12 mars 2012



hands on particle physics



## Collisionneur de grande énergie

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

## Collisionneur de grande énergie

- Particules accélérables: suffisamment stables (électron/positron, proton/antiproton, ions)
- Sonder des longueurs plus courtes  $\Leftrightarrow$  “voir” des objets plus petits
- 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

## Collisionneur de grande énergie

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

## Collisions

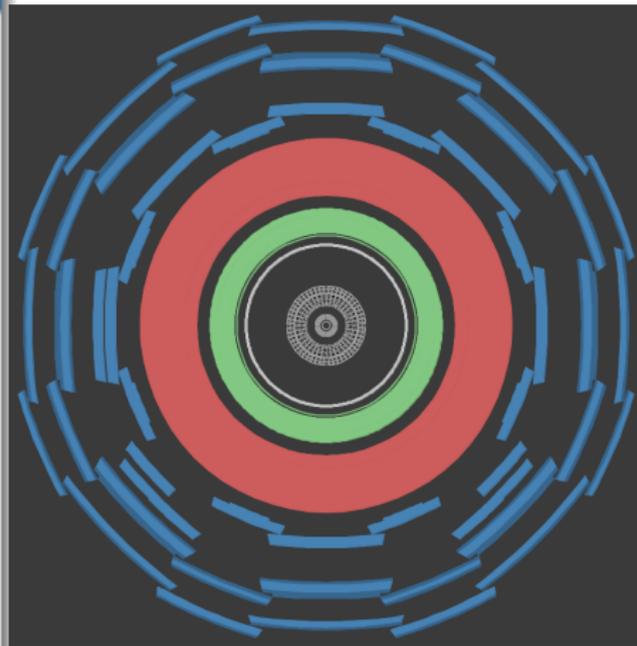
- Interactions entre particules accélérées (ou leurs constituants)
- Se produisent au centre d'un détecteur
- Etat final: particules suffisamment stables pour atteindre le détecteur

## Interprétation

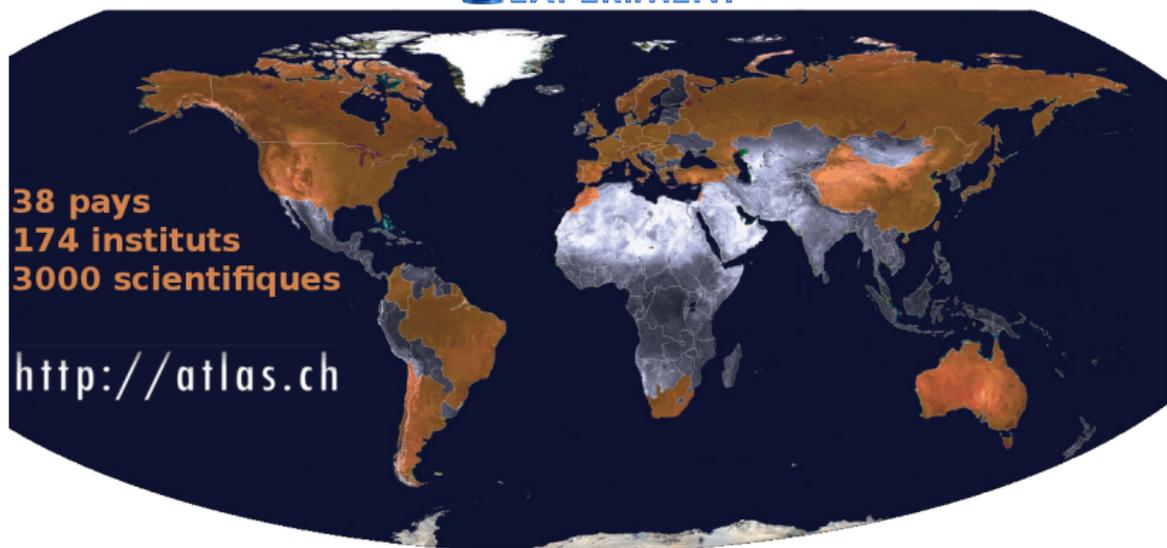
- Combiner les informations du détecteur pour former des objets
- Identifier les objets, mesurer leurs propriétés
- A partir de ces objets, inférer ce qu'il s'est passé dans la collision
- Comparer avec les prédictions théoriques

## 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



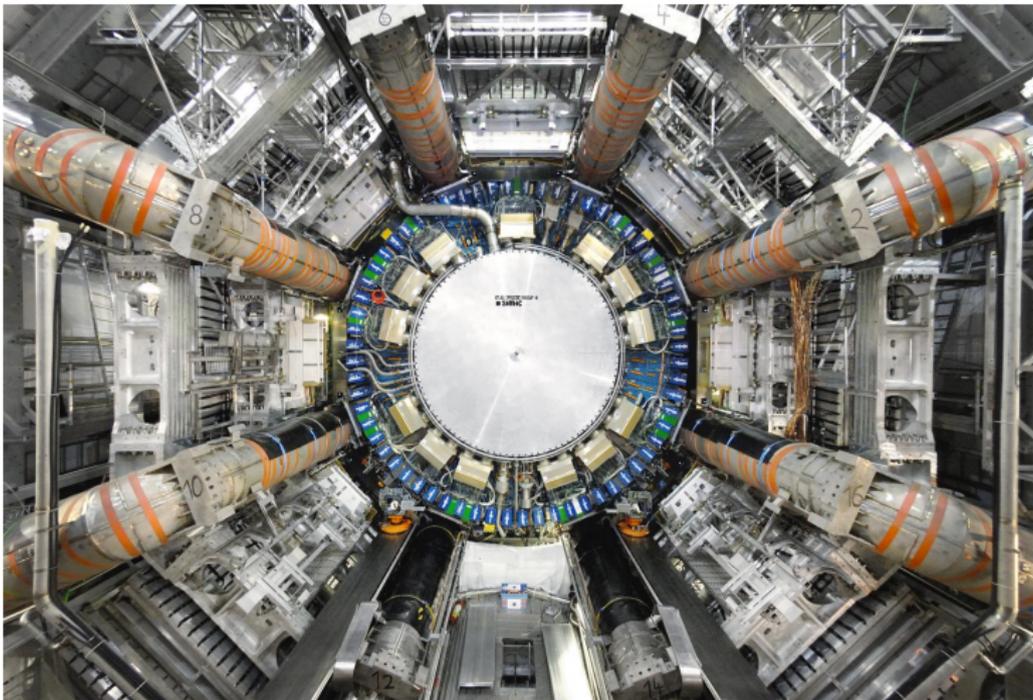
coupe transversale d'ATLAS



## Quelques chiffres

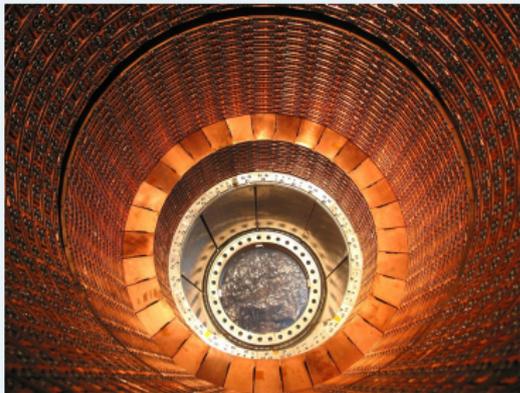
► <http://atlas.ch>

- 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)



► Episode I: a New Hope

## Calorimètre électromagnétique

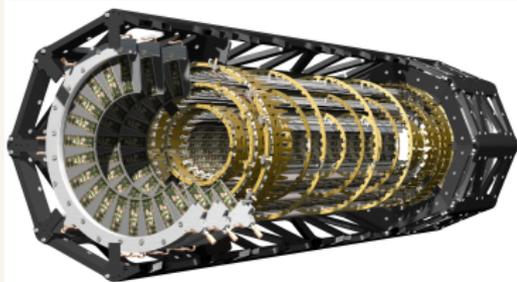


▸ Détection dans l'argon liquide

## Détecteur à pixels



▸ Détection dans le silicium

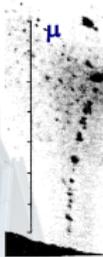


# Le modèle standard redécouvert : LHC 2010 !

Découverte historique



1897



1937



1947



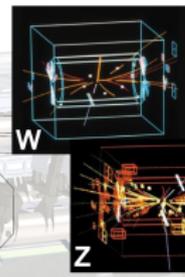
1964



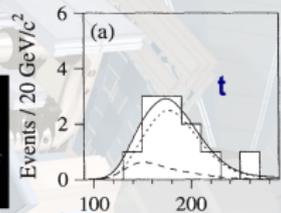
1974



1976



1983

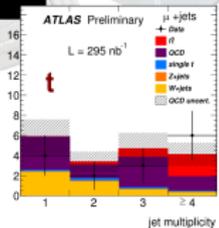
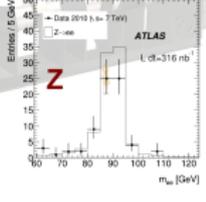
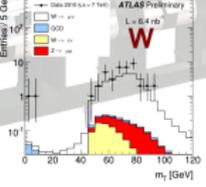
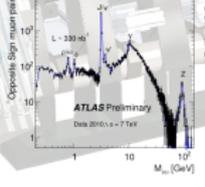
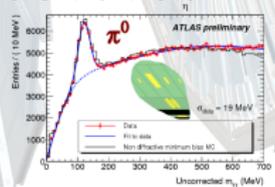
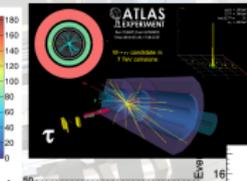
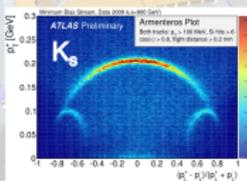
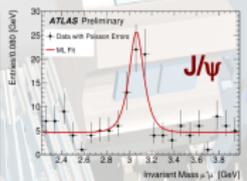
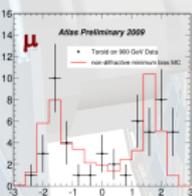


1995

déc 2009

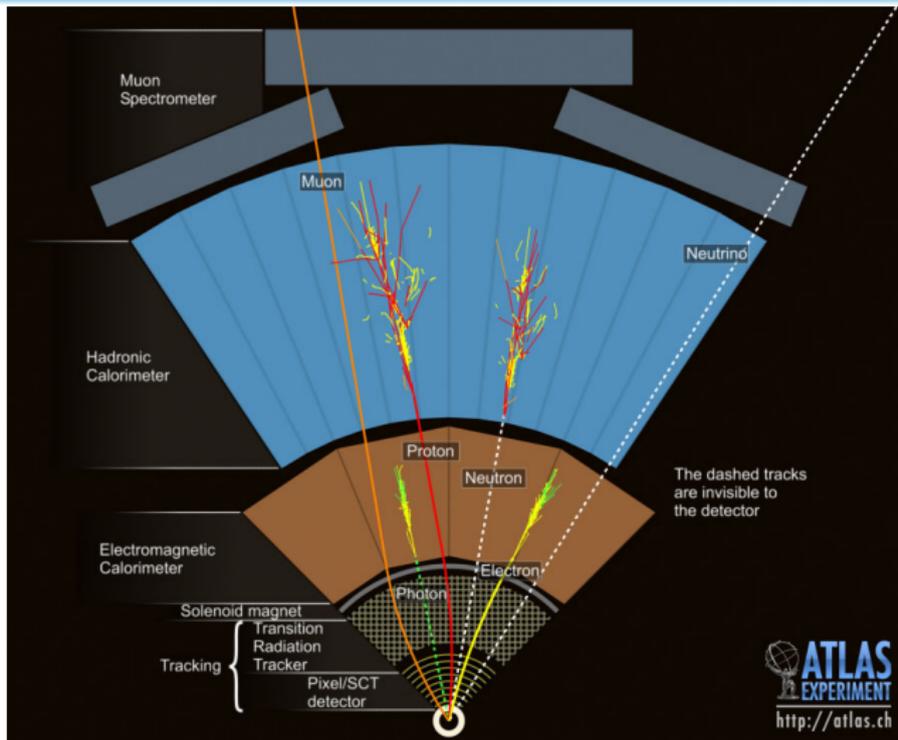
août 2010

Redécouverte par ATLAS





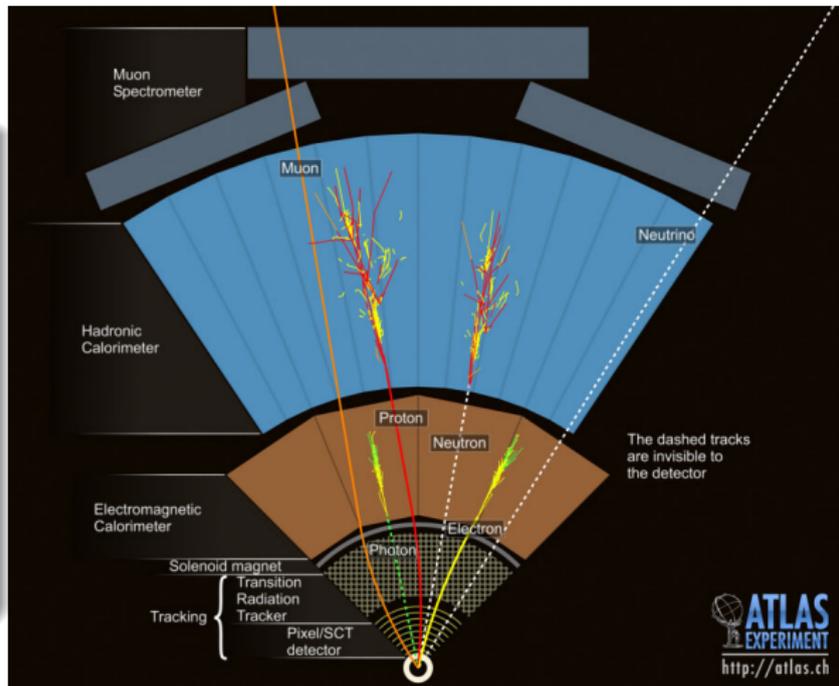
# Interaction des particules avec le détecteur



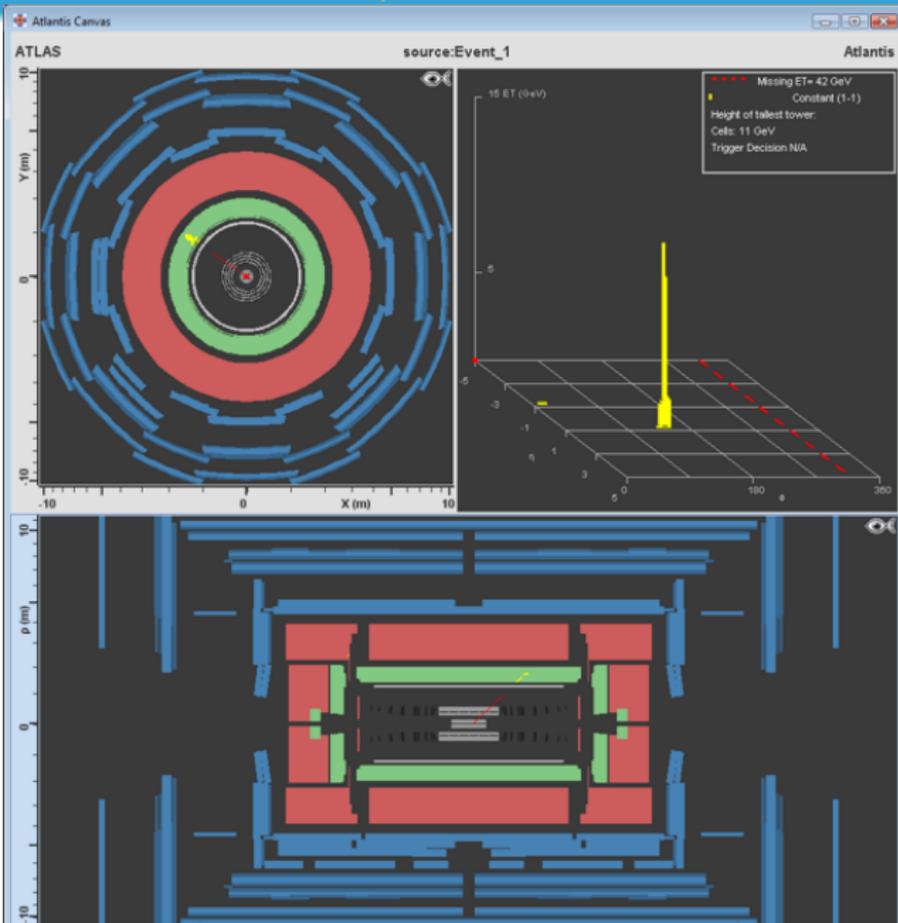
► Particules dans le détecteur

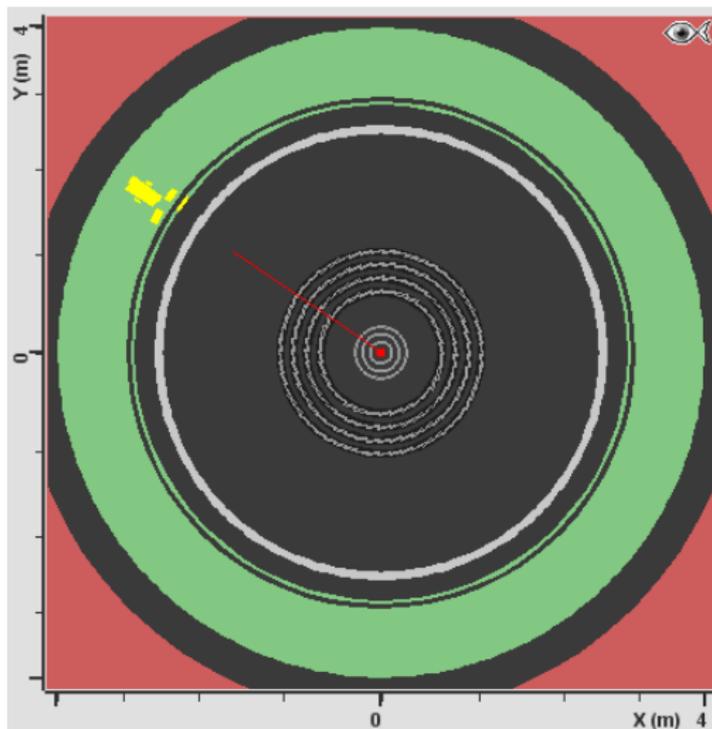
## Electron et positron

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

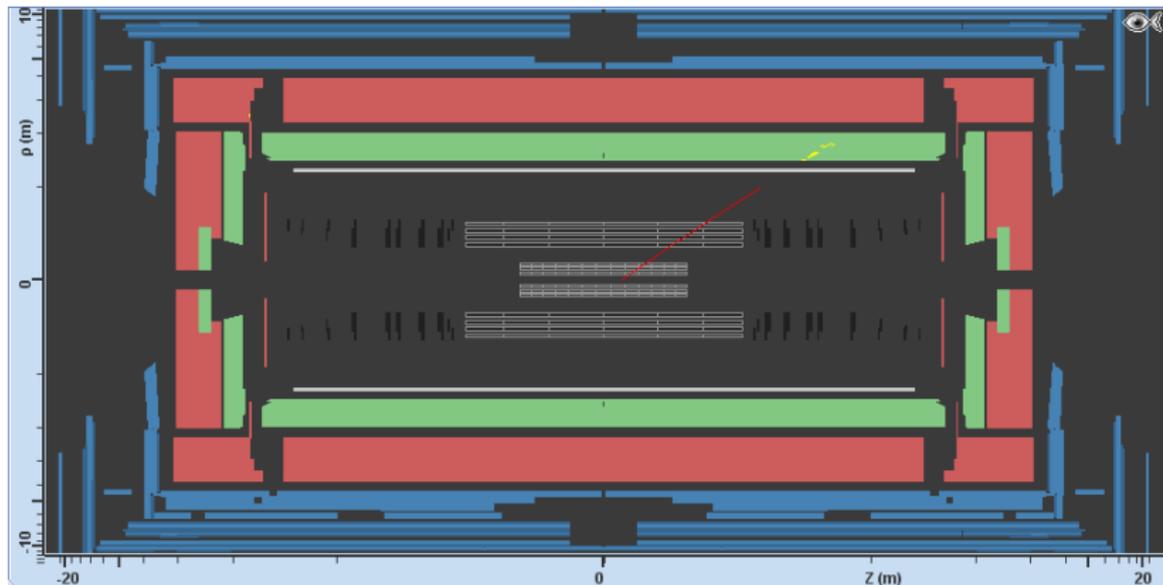


# Identifier un electron/positron avec Minerva





- 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, there are three views of the ATLAS detector: a top-down view of the calorimeter (ATLAS Canvas), a 3D view of the detector components (source.Minerva1), and a longitudinal cross-section (Z view). A yellow track is highlighted in all views. On the right, the Atlantis GUI window is open, showing a menu bar (File, Preferences, Lists), a toolbar with a hand icon highlighted by a red box and arrow, and a 'Data' table. The table lists detector components: Status, InDet, Calo, MuonDet, and Objects. Below the table, a text area displays 'Welcome to Atlantis !' and the file path 'Minerva1.xml (10602000326459)'.

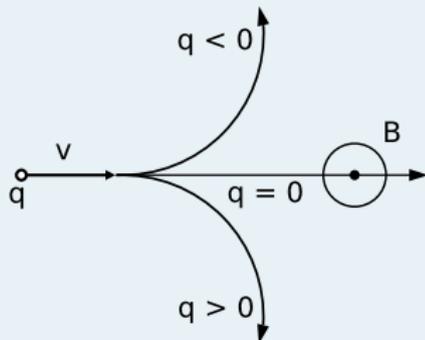
name	Value
Status	<input checked="" type="checkbox"/>
InDet	<input checked="" type="checkbox"/>
Calo	<input checked="" type="checkbox"/>
MuonDet	<input checked="" type="checkbox"/>
Objects	<input checked="" type="checkbox"/>

Welcome to Atlantis !  
Minerva1.xml (10602000326459)

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

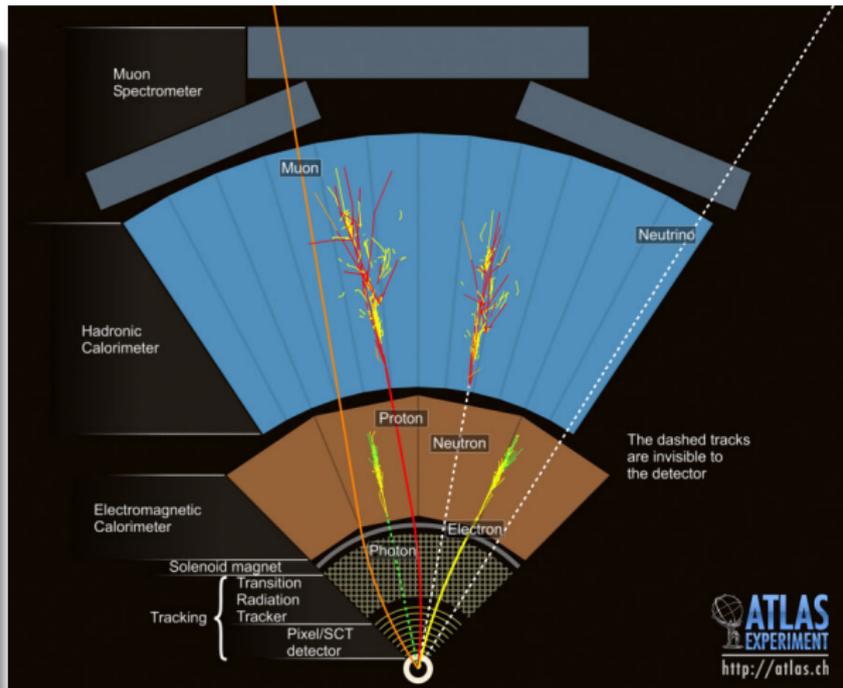
```
Exercise2-Event04.xml (161562003969900)
Exercise2-Event05.xml (160472004700963)
PT=44.730 GeV
eta = -1.139
Phi = 190.952°
Px = -43.915 GeV
Py = -8.498 GeV
Pz = 62.730 GeV
Charge = -1
```

- $p_T$  = impulsion transverse
- Le signe donne la charge de la particule
- Impulsion et charge sont mesurées grâce au champ magnétique qui enveloppe le détecteur interne :
  - force de Lorentz
  - rayon de courbure
  - sens de déflexion
- Ici :  $\ominus \Rightarrow$  c'est un électron



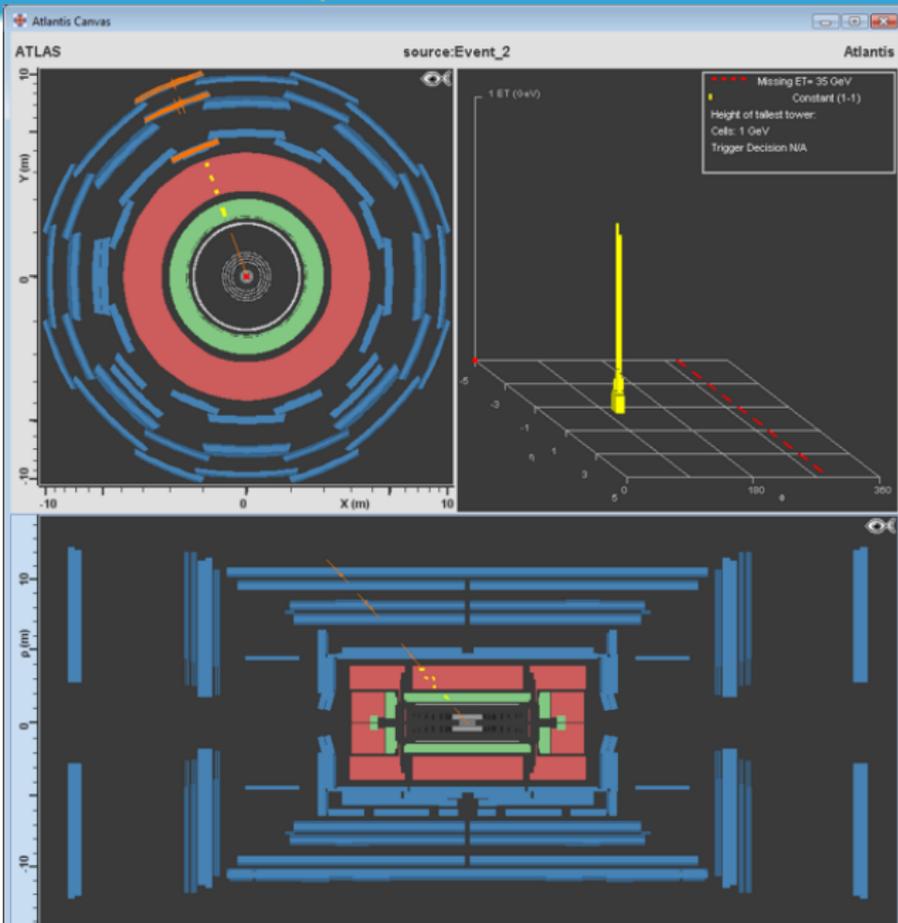
## Muon et antimuon

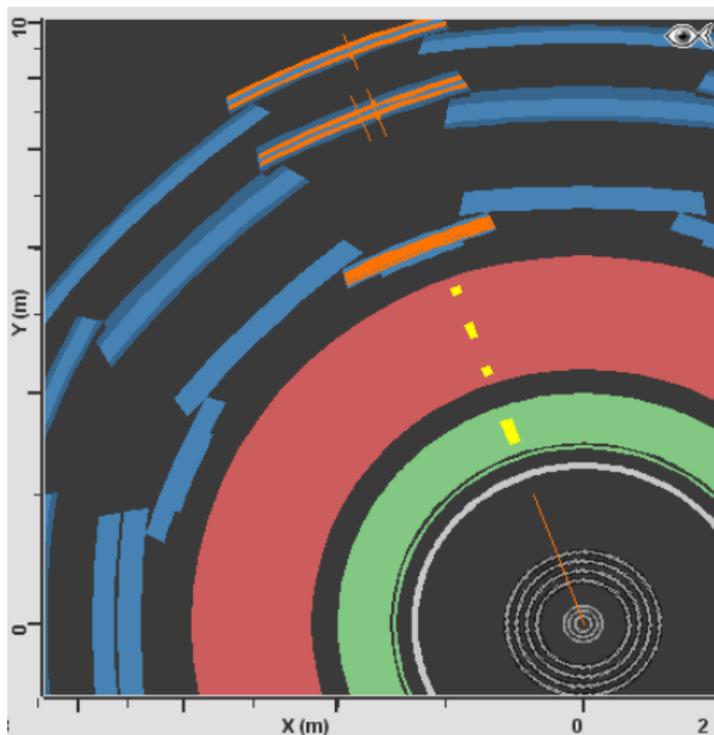
- Particule chargée : trace dans le trajectographe
- $\ominus$  = muon,  
 $\oplus$  = antimuon
- Un peu d'énergie dans les calorimètres
- Trace dans le détecteur à muons
- Continue sa course à l'extérieur d'ATLAS



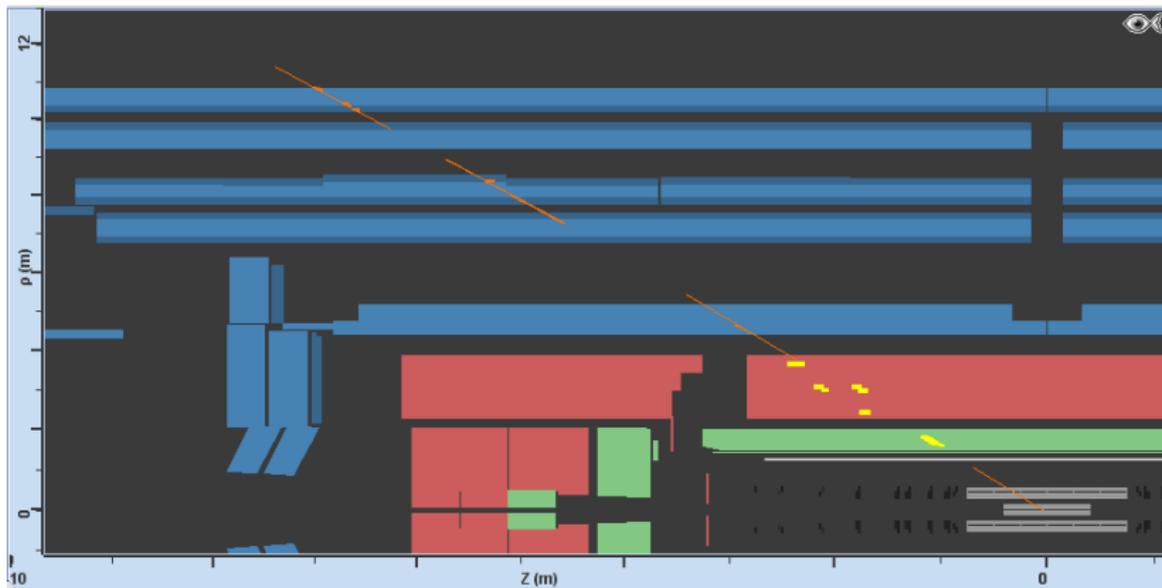


# Identifier un muon/antimuon avec Minerva



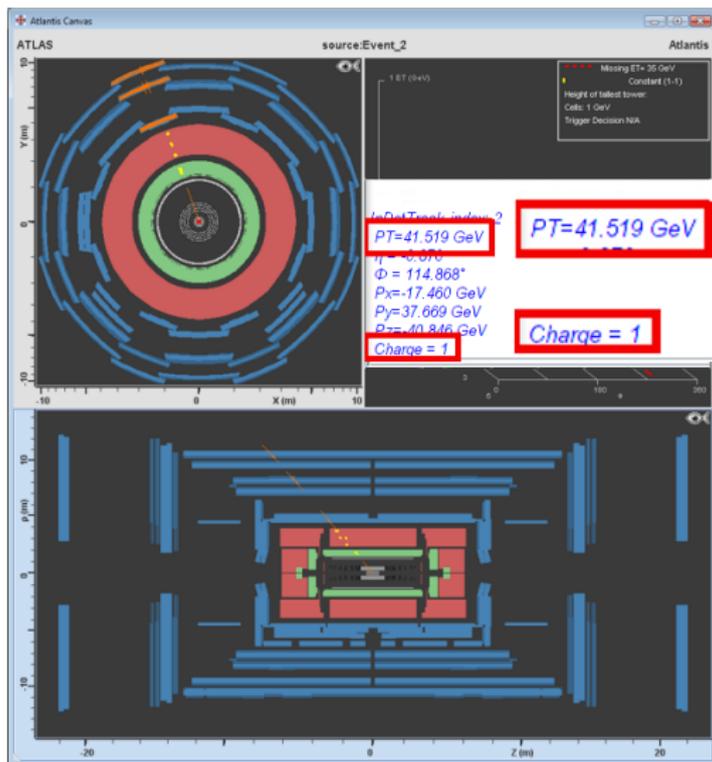


- Trace dans le trajectographe et le système des muons
- Un peu d'énergie dans les calorimètres



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

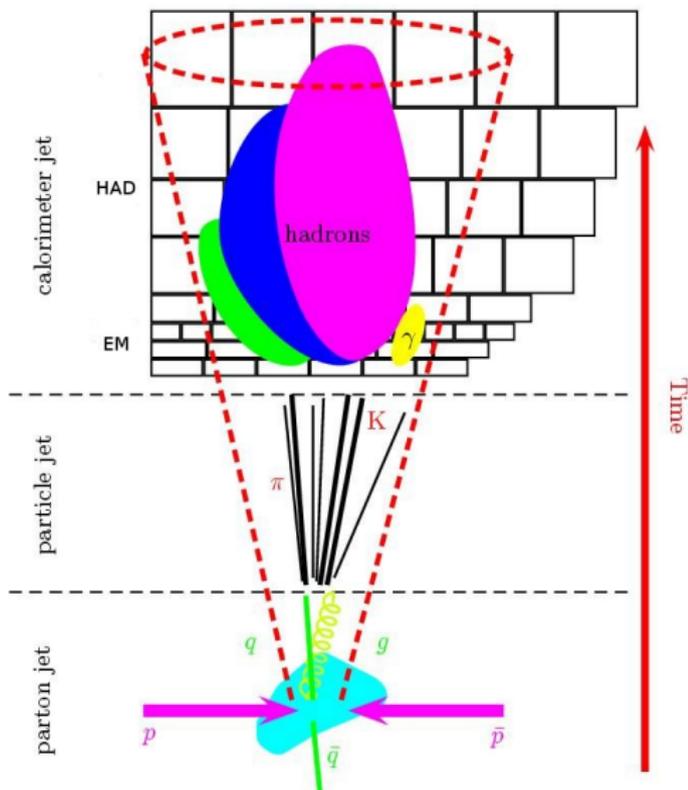
# Identifier un muon/antimuon avec Minerva

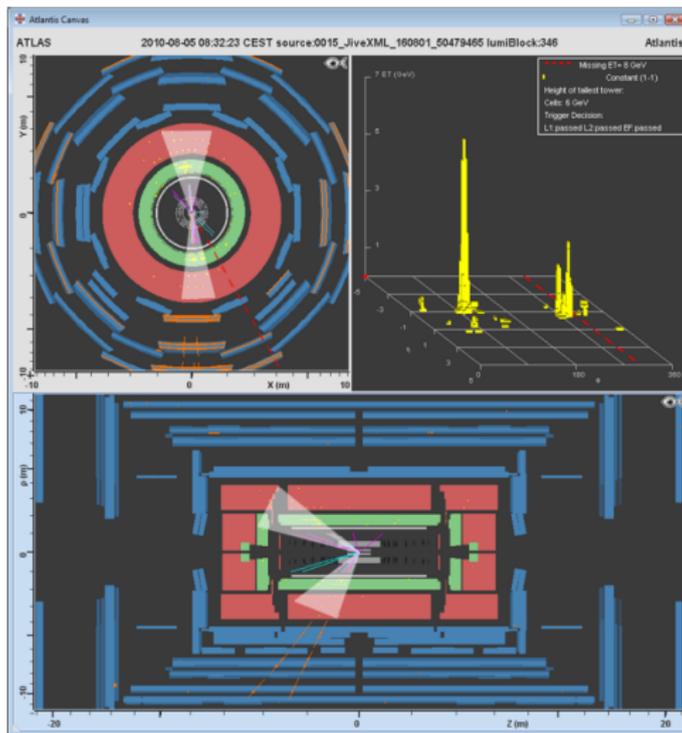


⊕ ⇒ c'est un antimuon

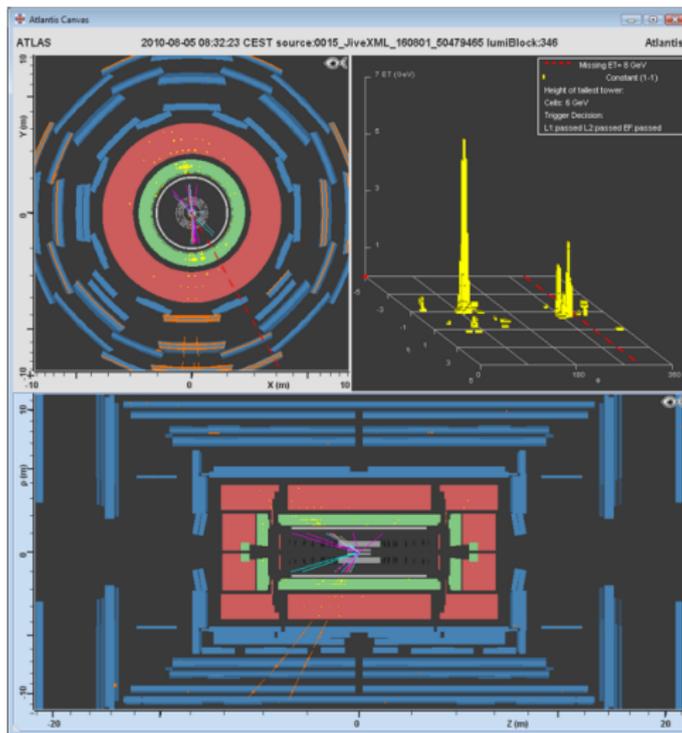
## Quarks, antiquarks et gluons

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





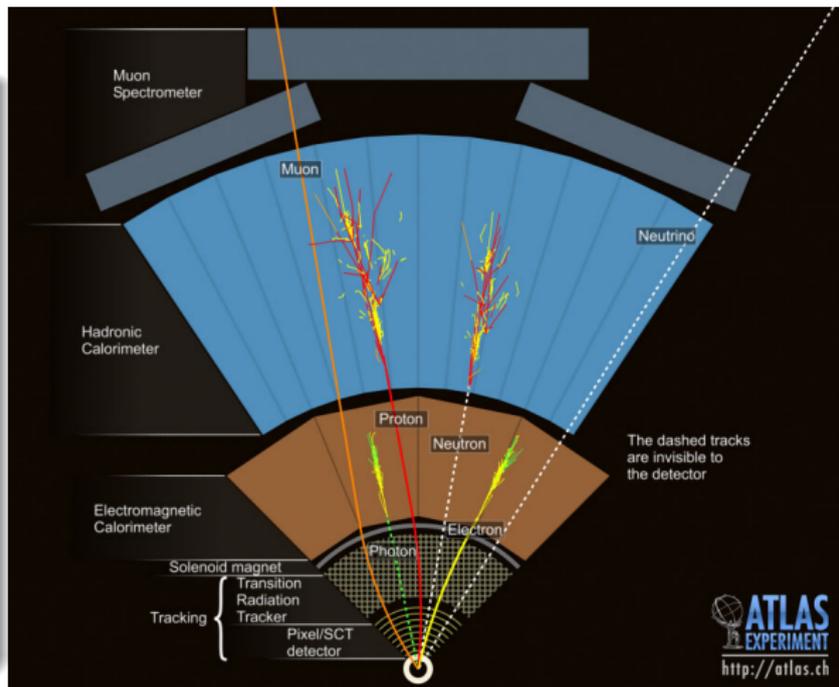
- Nombreuses particules  $\Rightarrow$  nombreuses traces
- Dépôts d'énergie dans les calorimètres (surtout hadronique)



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

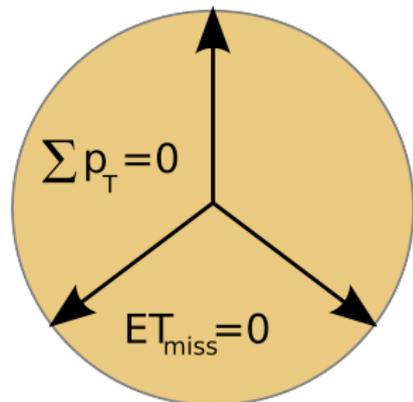
## Neutrinos

- 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



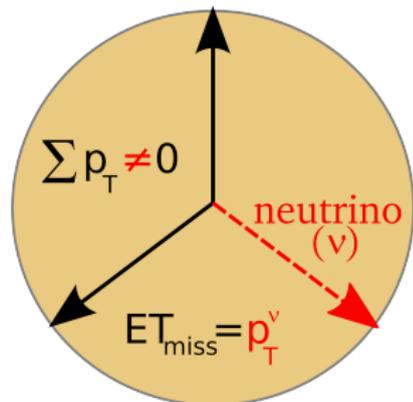
## Sans neutrino

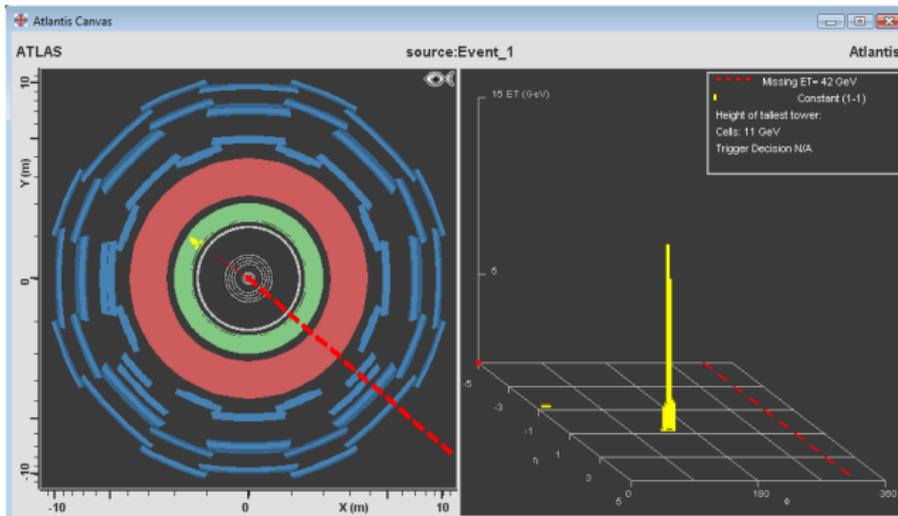
- Trois particules reconstruites
- Somme des impulsions dans le plan transverse : 0
- Donc  $ET_{\text{miss}} = 0$



## Avec neutrino

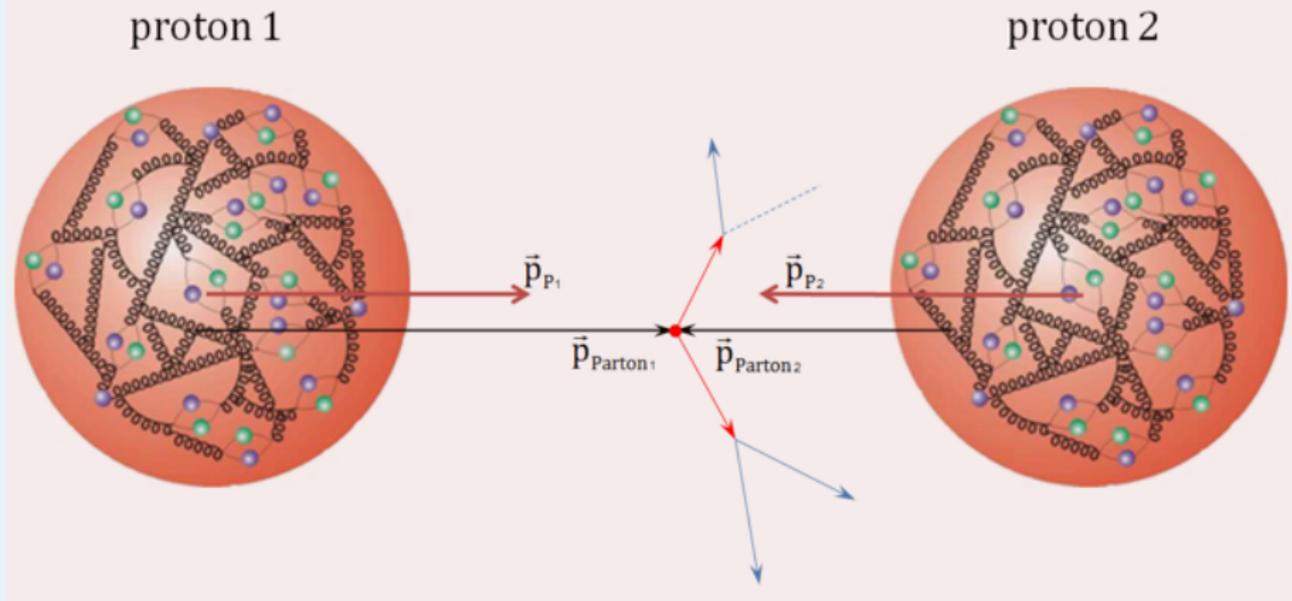
- On "voit" seulement une partie de l'événement
- La somme des impulsions n'est pas nulle
- La différence est  $ET_{\text{miss}}$ , associée au neutrino





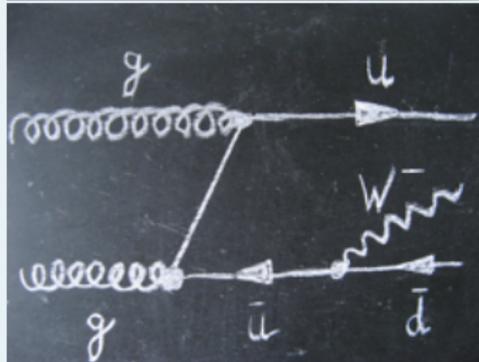
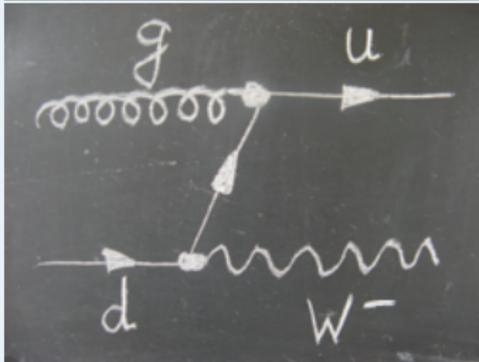
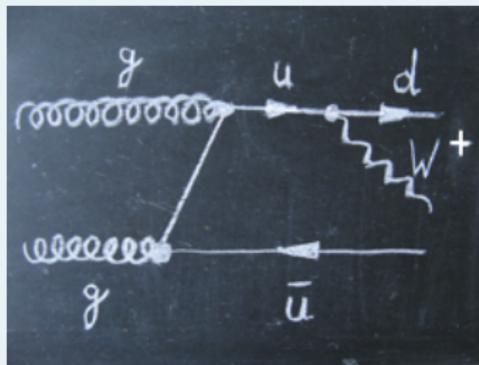
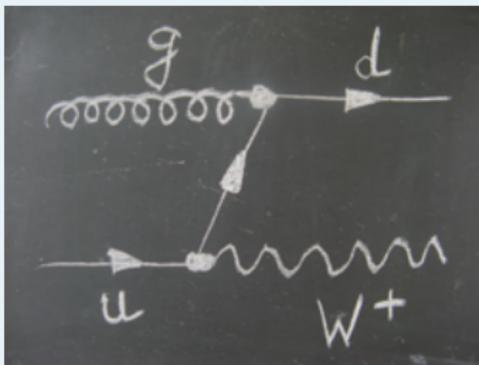
- Par conservation, la somme des impulsions dans le plan transversal vaut 0
- Sinon, “énergie transverse manquante (Missing  $E_T$ )” : particules indétectables (comme les neutrinos), non détectées ou mal mesurées (personne n’est parfait)
- Représenté par la ligne pointillée rouge, valeur en haut à droite

... et eurent beaucoup d'enfants !



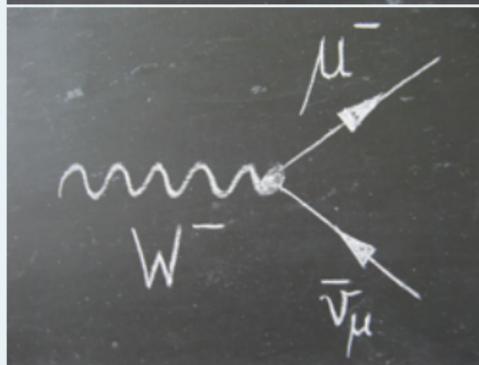
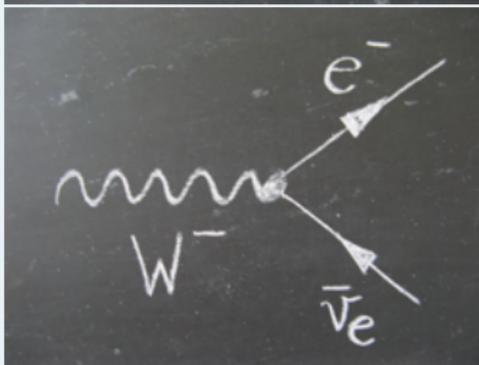
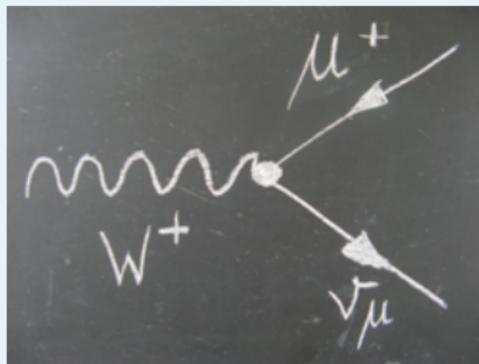
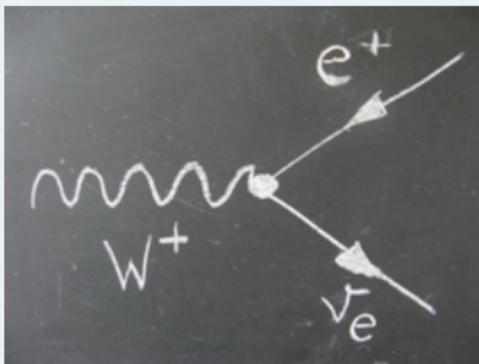
- Collision proton–proton = collision entre constituants (quarks et/ou gluons)
- Jamais deux fois la même collision  $\Rightarrow$  mesures statistiques

## Comment sont-ils produits ?



- Les quarks produisent des jets

## Que leur arrive-t-il ?

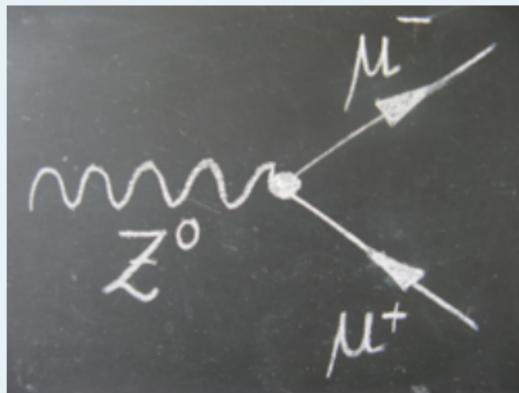
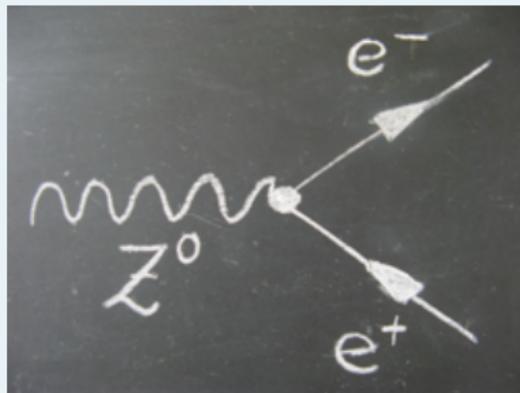


- Donne aussi souvent des leptons tau, plus difficiles à identifier

## 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

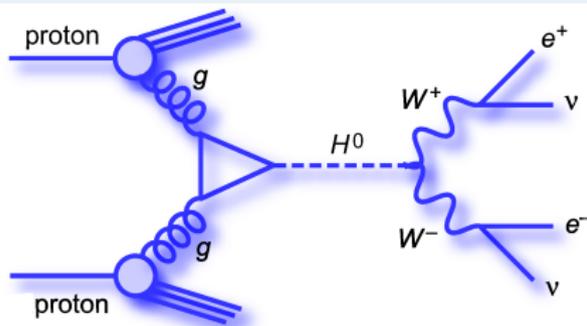
## Production de Z



- 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 !

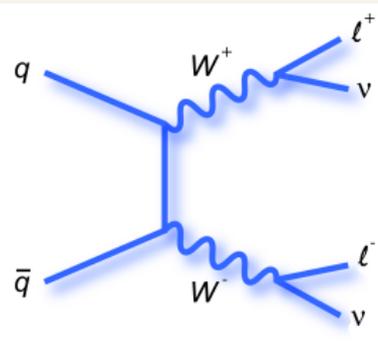
- Seule particule du Modèle Standard toujours pas observée
- Intenses recherche au Tevatron et au LHC (derniers résultats la semaine dernière)

## Production de H



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

## Bruit de fond



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

- Jamais observé, mais quelques événements simulés ont été rajoutés dans les données à analyser cet après-midi
- Il va falloir être attentif !

Nos présentations

Les Masterclasses 

ATLAS grand public 

ATLAS en direct

ATLAS sur 

ATLAS sur 

Le site français du LHC

Le CPPM 

Le CERN 

Le CERN sur 

▶ <http://indico.in2p3.fr/event/6656>

▶ <http://physicsmasterclasses.org>

▶ <http://atlas.ch>

▶ <http://atlas-live.cern.ch>

▶ <http://twitter.com/ATLASexperiment>

▶ <http://www.youtube.com/theATLASexperiment>

▶ <http://www.lhc-france.fr>

▶ <http://marwww.in2p3.fr>

▶ <http://cern.ch>

▶ <http://twitter.com/cern>

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