

Détection de particules dans l'expérience ATLAS

Yann Coadou

CPPM Marseille

Lycée St Joseph de la Madeleine (Marseille)
23 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

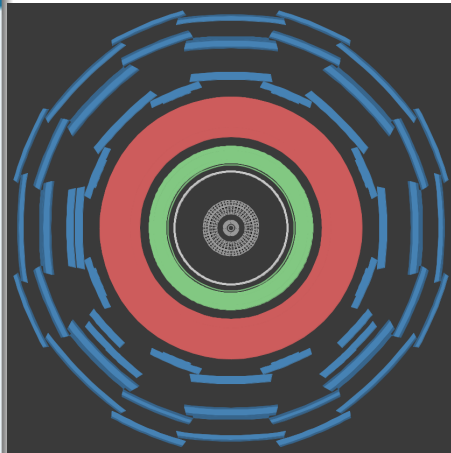
- Interactions entre particules accélérées (ou leurs constituants)
- Se produisent au centre d'un détecteur
- Etat final: particules suffisamment stables pour atteindre le détecteur

Interprétation

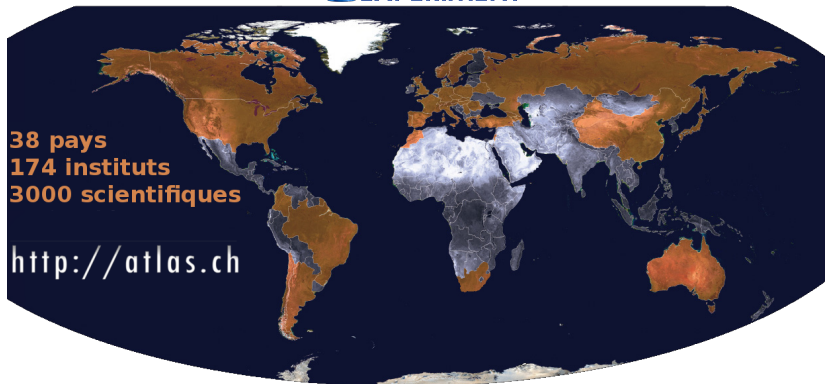
- Combiner les informations du détecteur pour former des objets
- Identifier les objets, mesurer leurs propriétés
- A partir de ces objets, inférer ce qu'il s'est passé dans la collision
- Comparer avec les prédictions théoriques

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



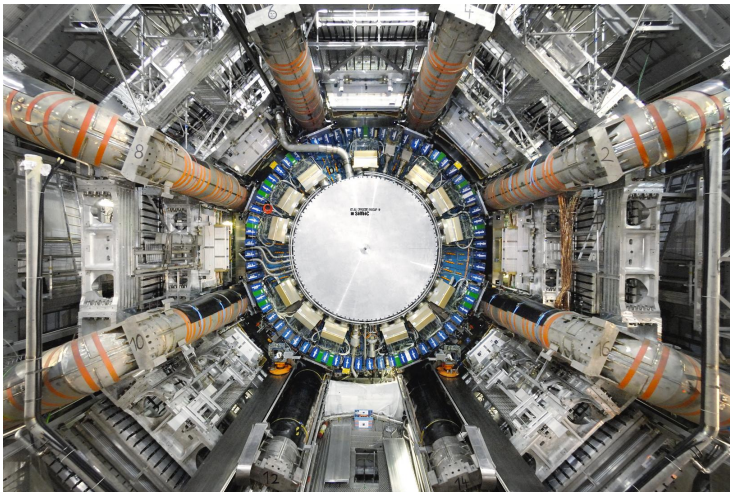
coupe transversale d'ATLAS



Quelques chiffres

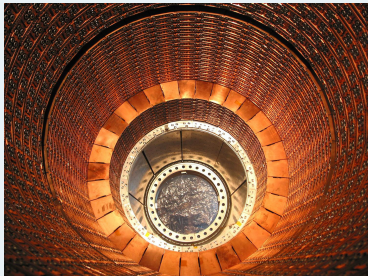
► <http://atlas.ch>

- 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

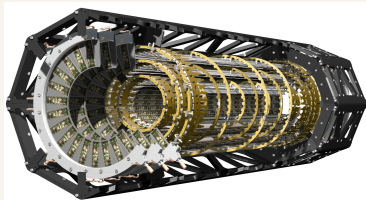


▸ Détection dans l'argon liquide

Détecteur à pixels

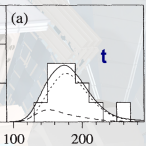
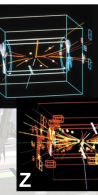
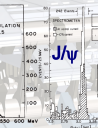
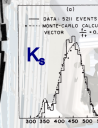
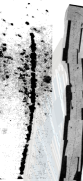
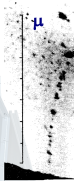


▸ Détection dans le silicium



Le modèle standard redécouvert : LHC 2010 !

Découverte historique



1897

1937

1947

1964

1974

1976

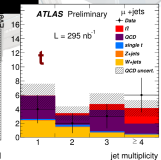
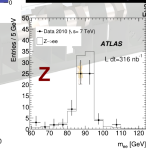
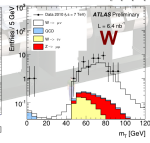
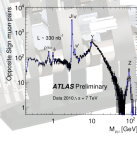
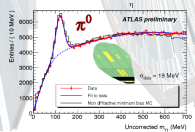
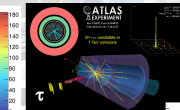
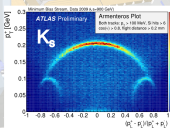
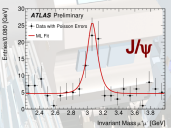
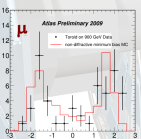
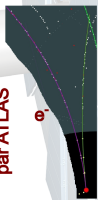
1983

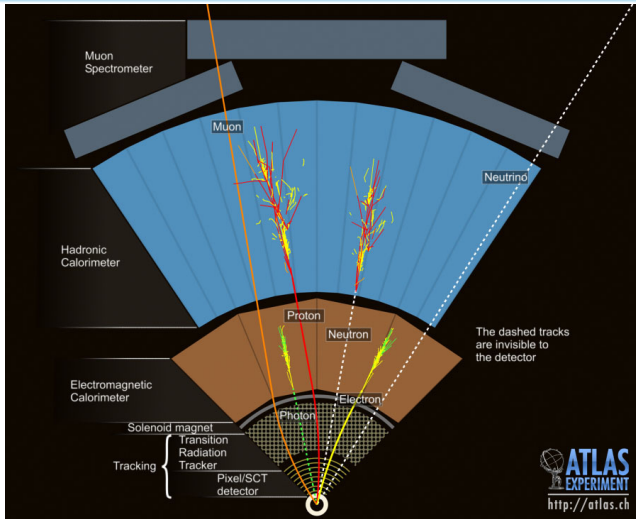
1995

déc 2009

août 2010

Redécouverte par ATLAS

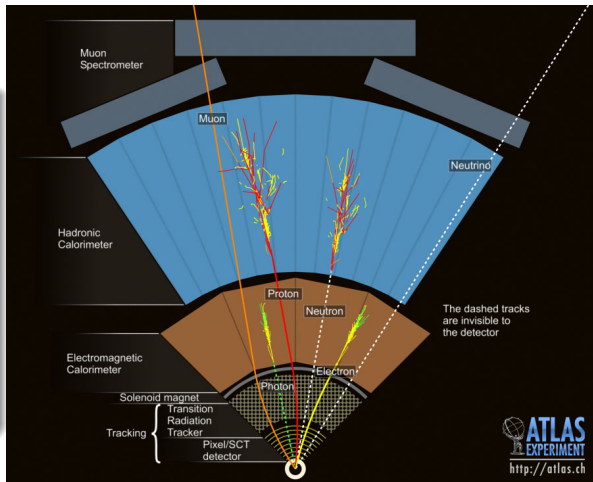




► Particules dans le détecteur

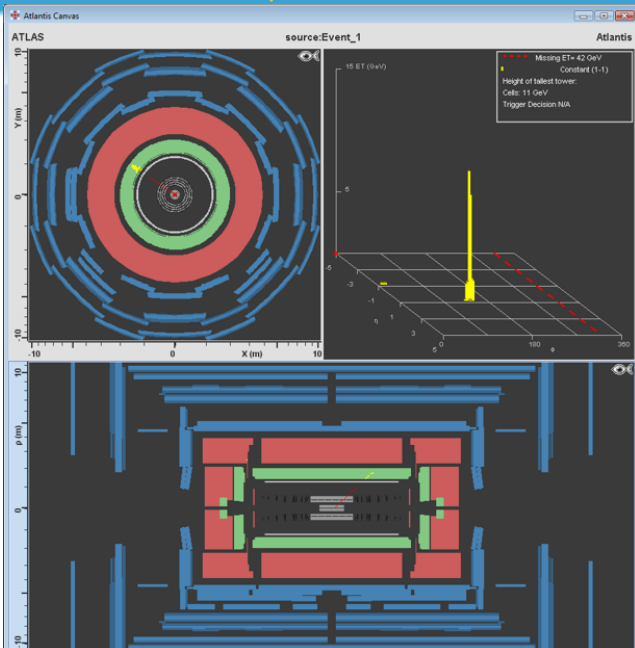
Electron et positron

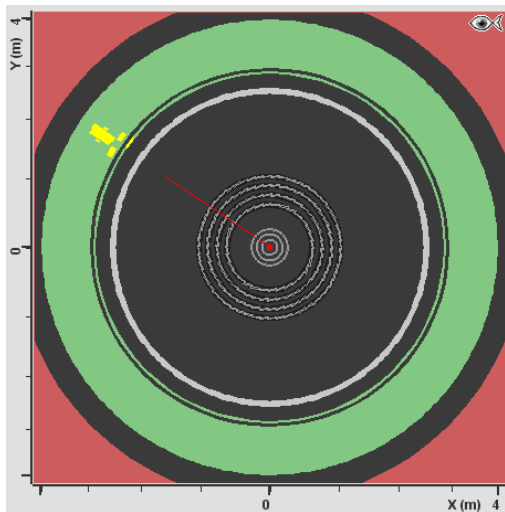
- Particule chargée : trace dans le trajectographe
- \ominus = électron, \oplus = positron
- Gerbe dans le calorimètre électromagnétique



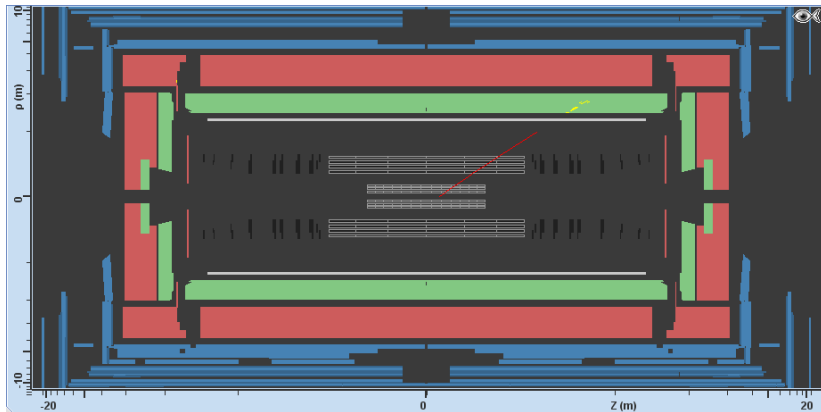


Identifier un electron/positron avec Minerva





- Trace dans le trajectographe
- Energie dans le calorimètre électromagnétique



- Trace dans le trajectographe
- Energie dans le calorimètre électromagnétique

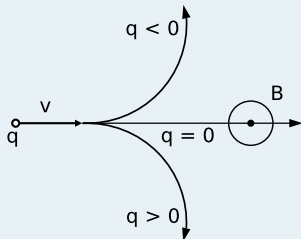
Identifier un electron/positron avec Minerva

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, a 3D view of the detector components, and a longitudinal view of the detector. The central window shows a Minerva event analysis with a yellow track and a 3D visualization. The right window shows the Atlantis GUI controls, including a mouse cursor icon highlighted with a red box and a red arrow pointing to it. Below the controls is a table with columns 'name' and 'Value' and a list of checked items: Status, InDet, Calo, MuonDet, and Objects. At the bottom of the right window, there is a text area with 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

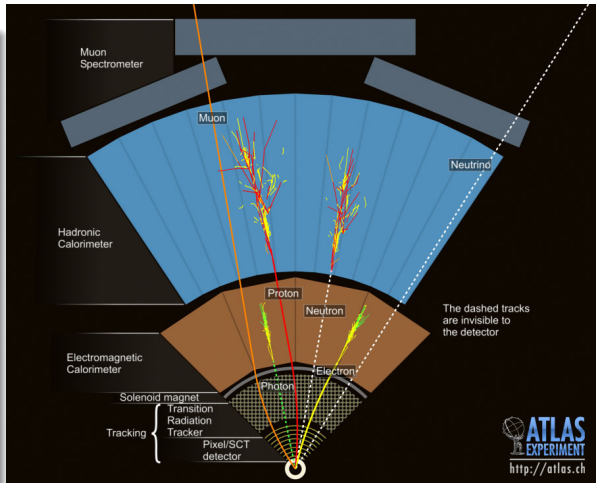
```
Exercise2-Event04.xml (161562003969900)
Exercise2-Event05.xml (160472004700963)
PT=44.730 GeV
eta = -1.139
Phi = 190.952°
Px = -43.915 GeV
Py = -8.498 GeV
Pz = 62.730 GeV
Charge = -1
```

- 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

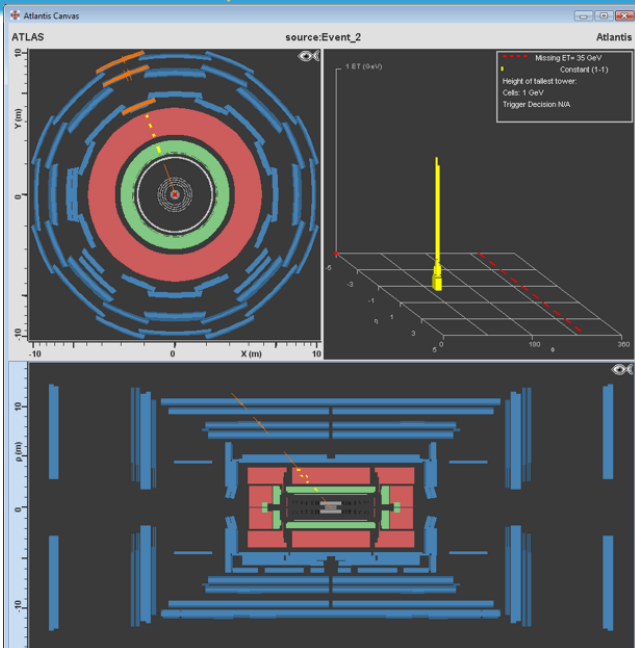


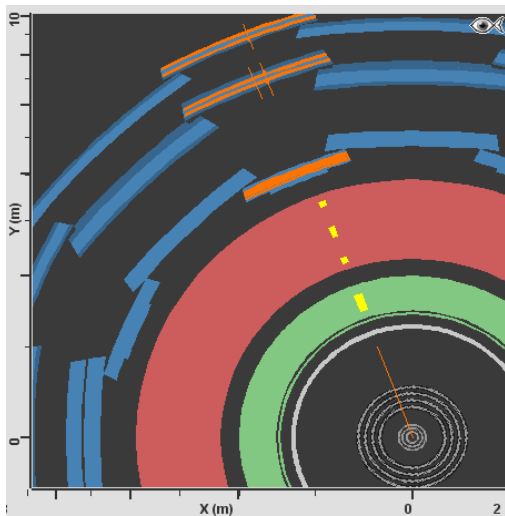
Muon et antimuon

- 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

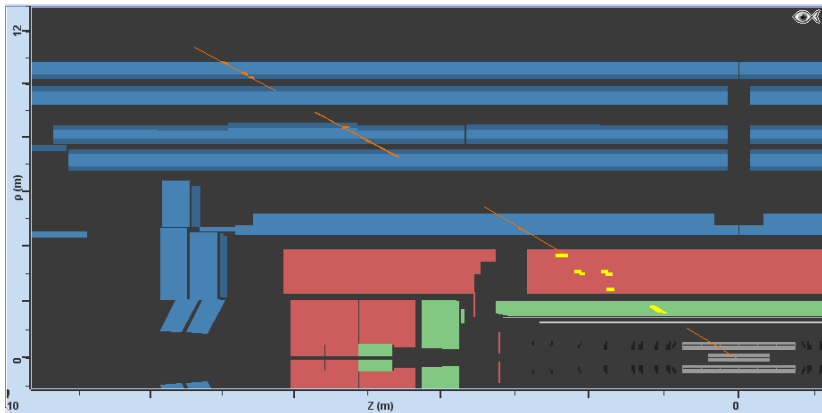


Identifier un muon/antimuon avec Minerva



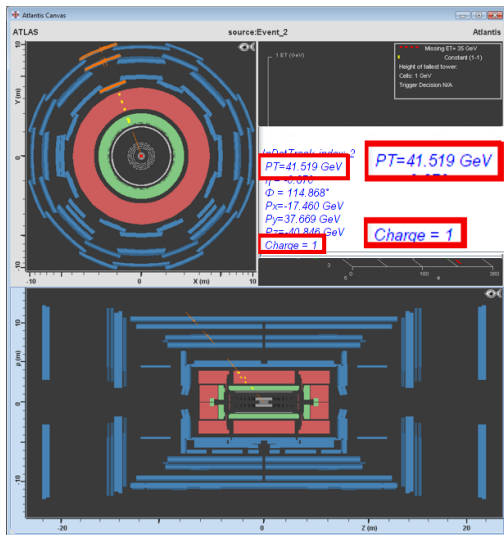


- Trace dans le trajectographe et le système des muons
- Un peu d'énergie dans les calorimètres



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

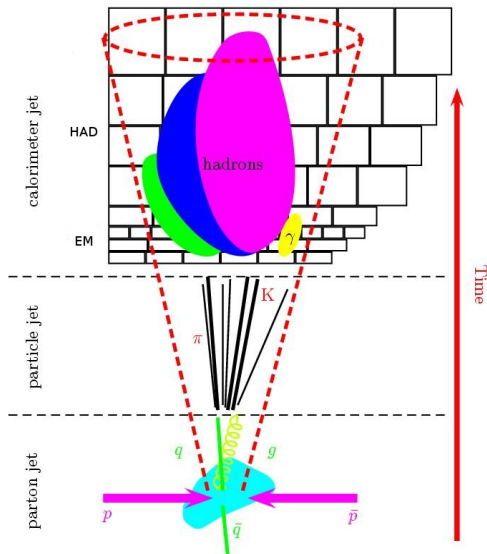
Identifier un muon/antimuon avec Minerva

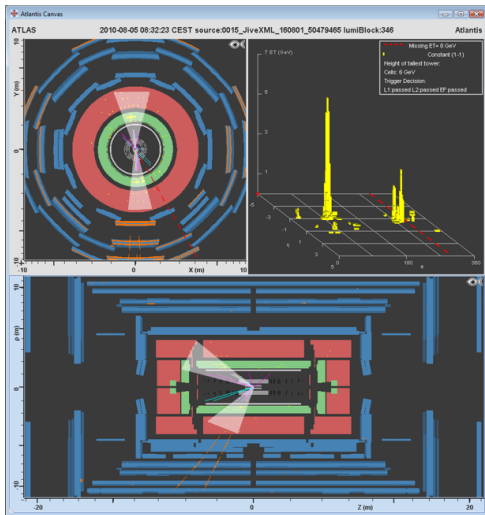


⊕ ⇒ c'est un antimuon

Quarks, antiquarks et gluons

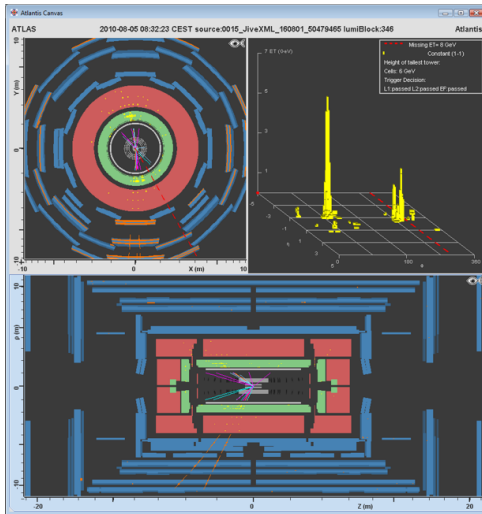
- Forment plusieurs hadrons
⇒ jets
- Particules chargées : traces dans le trajectographe
- Gerbes dans le calorimètre électromagnétique et surtout dans le calorimètre hadronique





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

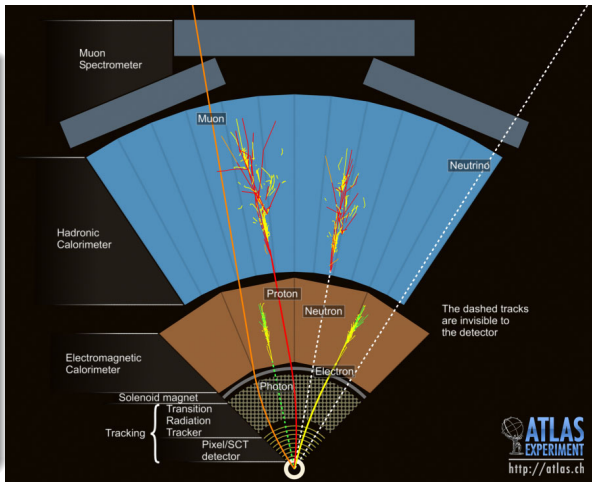
Identifier un jet avec Minerva



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

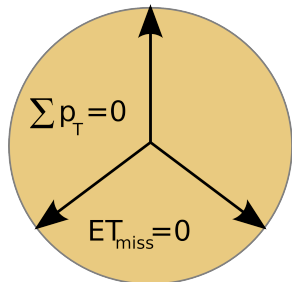
Neutrinos

- 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



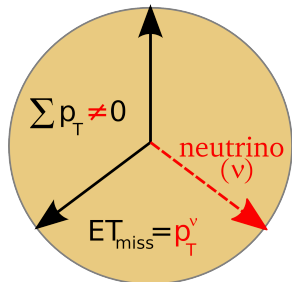
Sans neutrino

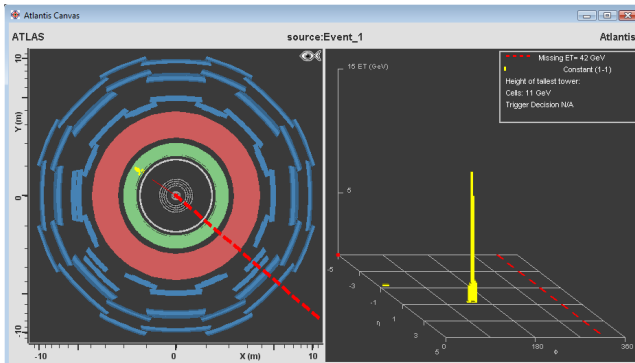
- Trois particules reconstruites
- Somme des impulsions dans le plan transverse : 0
- Donc $ET_{\text{miss}} = 0$



Avec neutrino

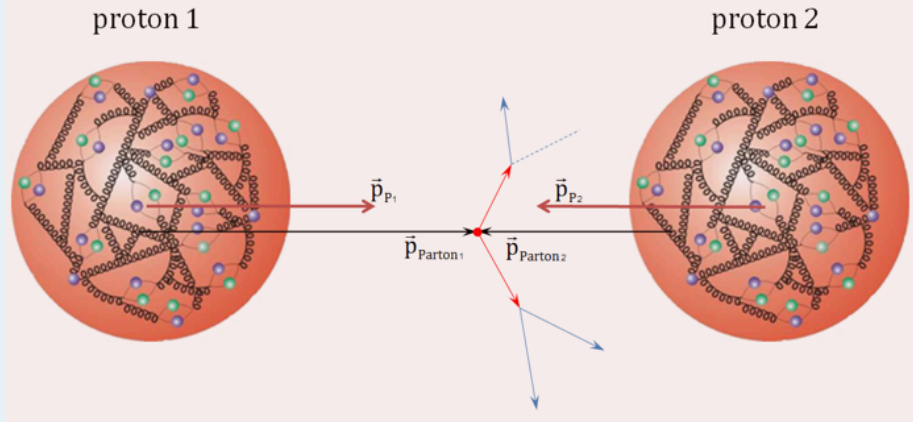
- On "voit" seulement une partie de l'événement
- La somme des impulsions n'est pas nulle
- La différence est ET_{miss} , associée au neutrino





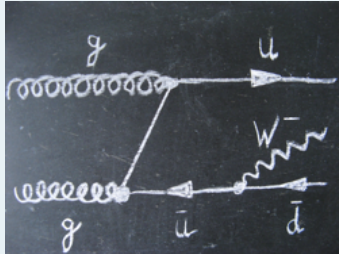
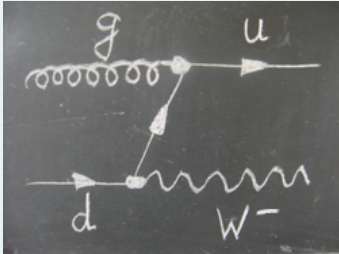
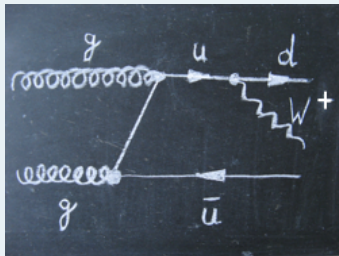
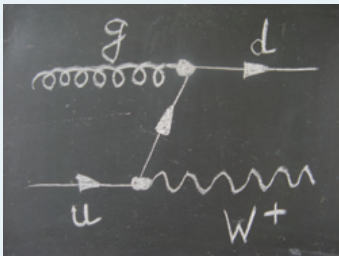
- Par conservation, la somme des impulsions dans le plan transversal vaut 0
- Sinon, “énergie transverse manquante (Missing E_T)” : particules indétectables (comme les neutrinos), non détectées ou mal mesurées (personne n’est parfait)
- Représenté par la ligne pointillée rouge, valeur en haut à droite

... et eurent beaucoup d'enfants !



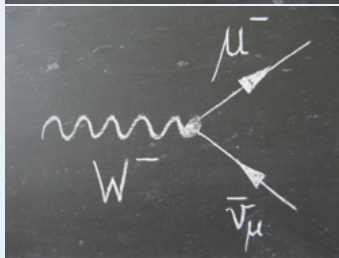
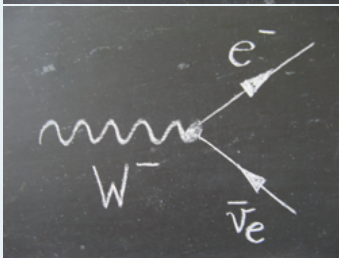
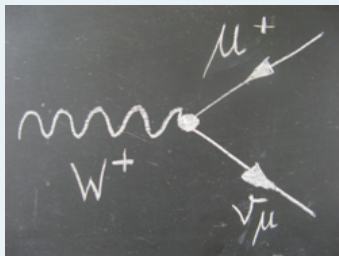
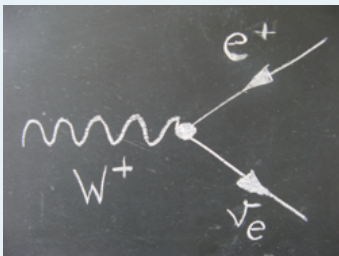
- Collision proton–proton = collision entre constituants (quarks et/ou gluons)
- Jamais deux fois la même collision \Rightarrow mesures statistiques

Comment sont-ils produits ?



- Les quarks produisent des jets

Que leur arrive-t-il ?

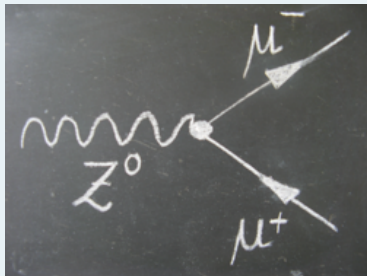
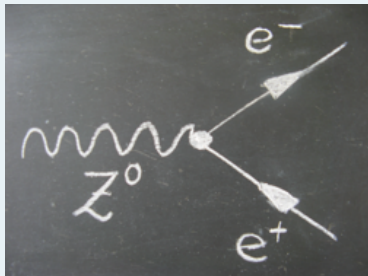


- Donne aussi souvent des leptons tau, plus difficiles à identifier

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

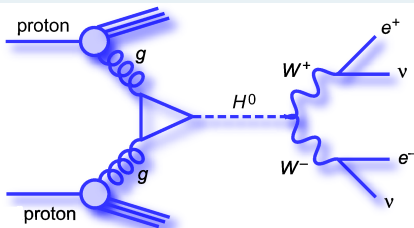
Production de Z



- 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 !

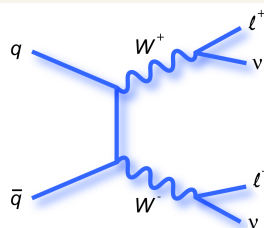
- Seule particule du Modèle Standard toujours pas observée
- Intenses recherche au Tevatron et au LHC (derniers résultats il y a deux semaines seulement !)

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/6744>

▶ <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 !