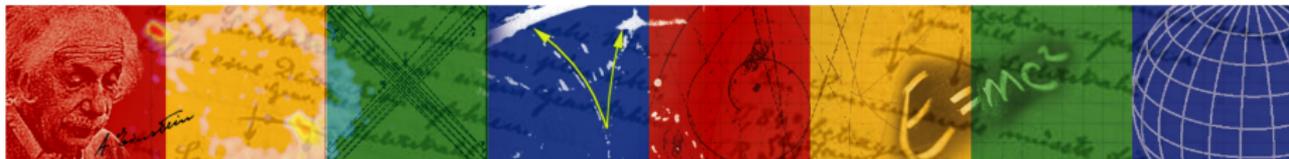


Détection de particules dans l'expérience ATLAS

Yann Coadou

CPPM Marseille

CERN Masterclasses, Lycée Jean Perrin
17 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

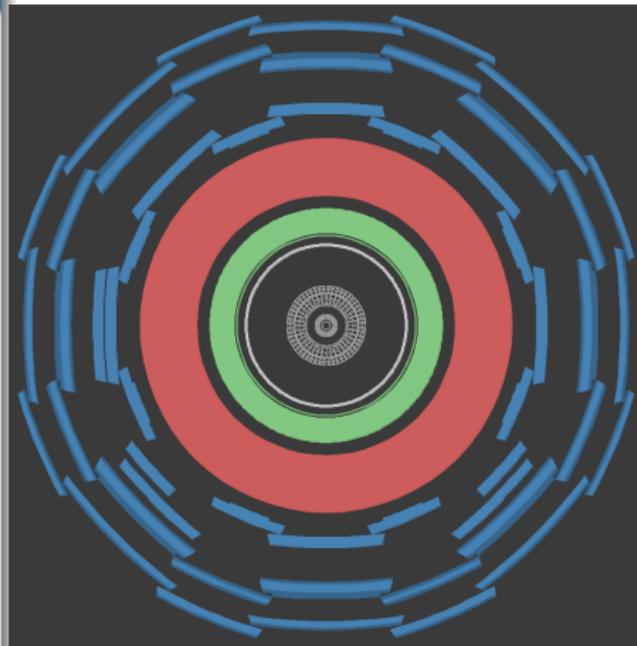
- Interactions entre particules accélérées (ou leurs constituants)
- Se produisent au centre d'un détecteur
- Etat final: particules suffisamment stables pour atteindre le détecteur (e, γ, μ, π, p , etc.)

Interprétation

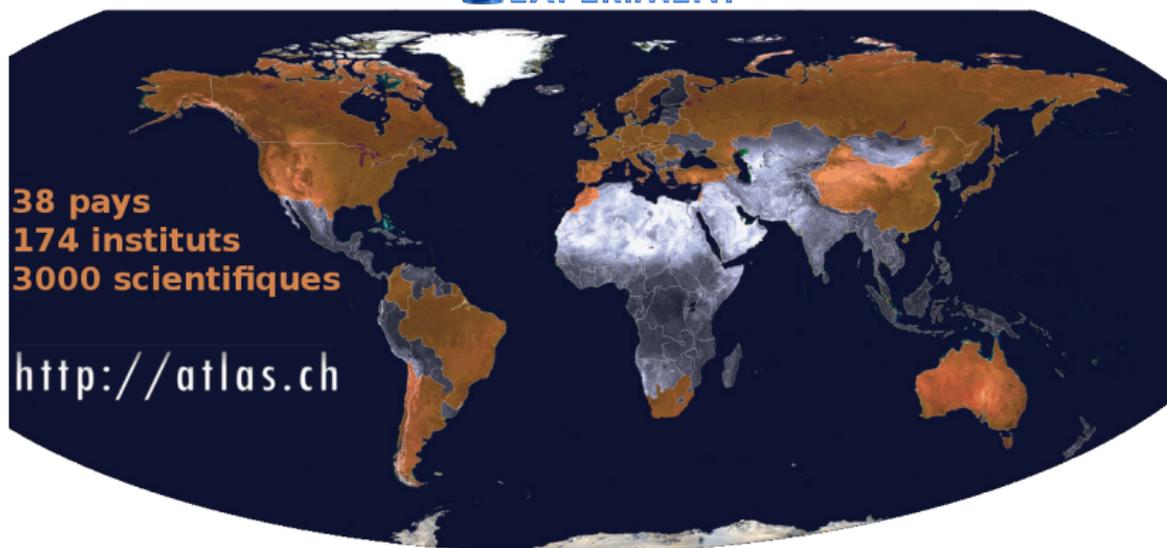
- Combiner les informations du détecteur pour former des objets
- A partir de ces objets, inférer ce qu'il s'est passé dans la collision
- Comparer avec les prédictions théoriques

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

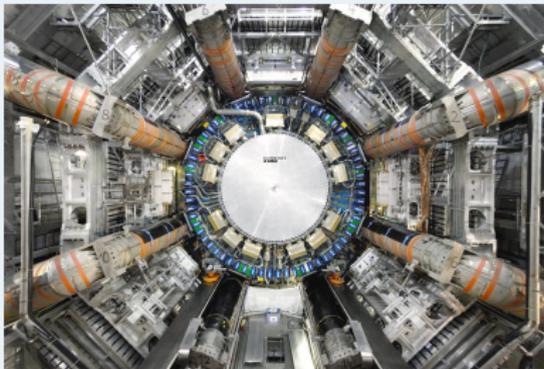


Quelques chiffres

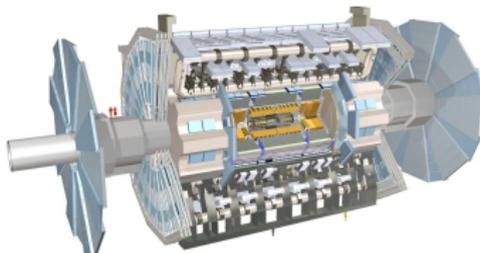
<http://atlas.ch>

- 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)

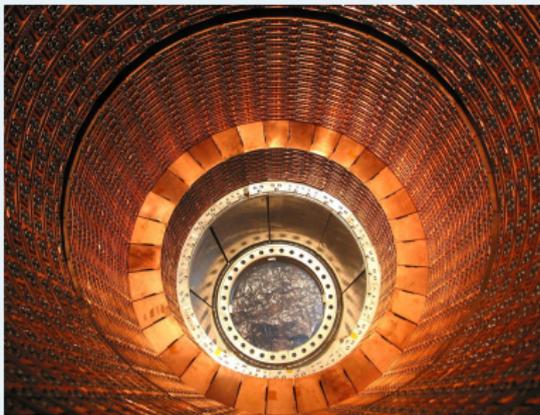
Une idée de la taille en animation



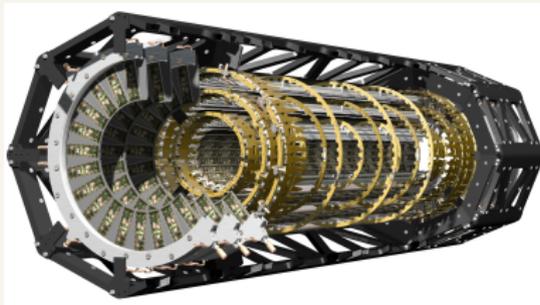
Comment ça marche ?



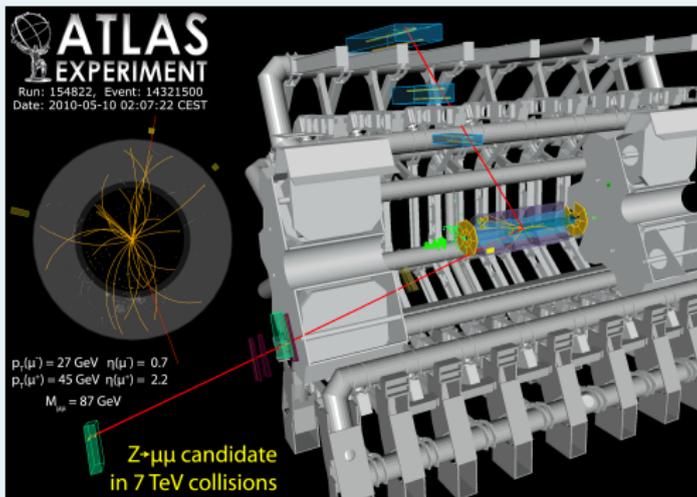
Calorimètre électromagnétique



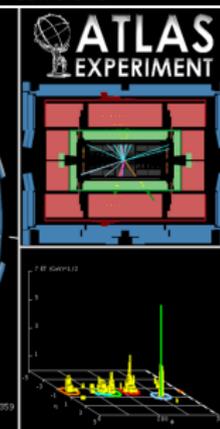
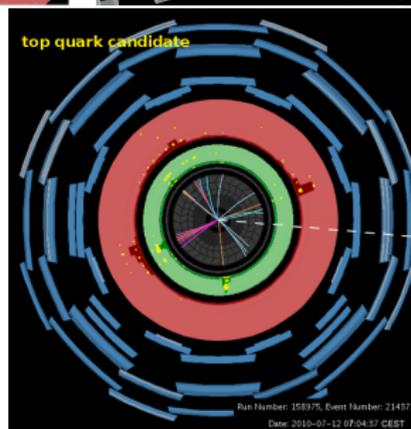
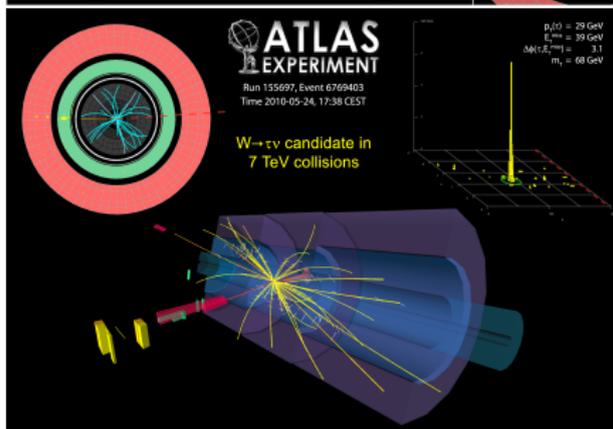
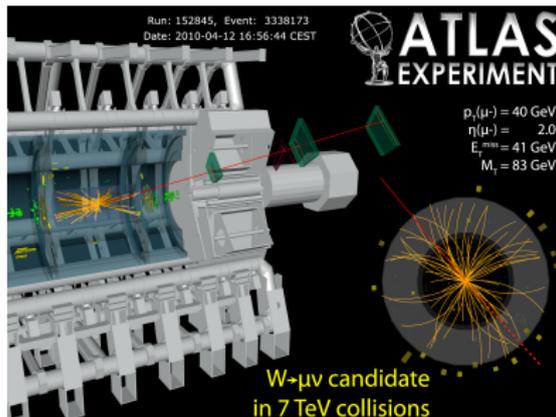
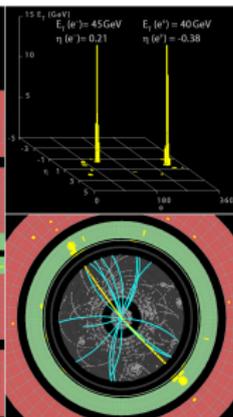
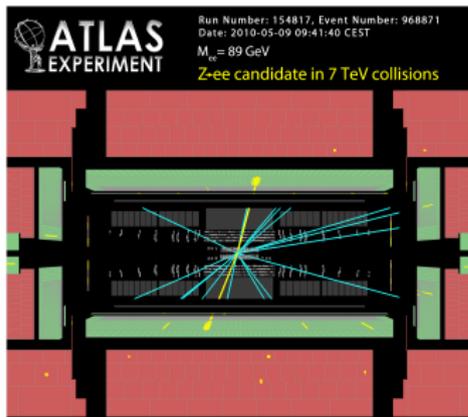
Détecteur à pixels



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

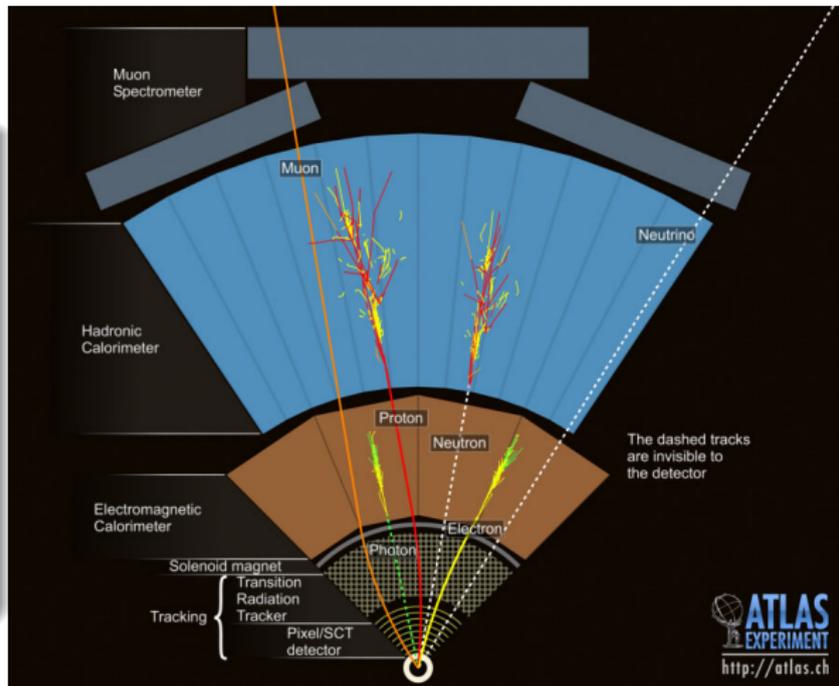


Le modèle standard redécouvert : LHC 2010 !

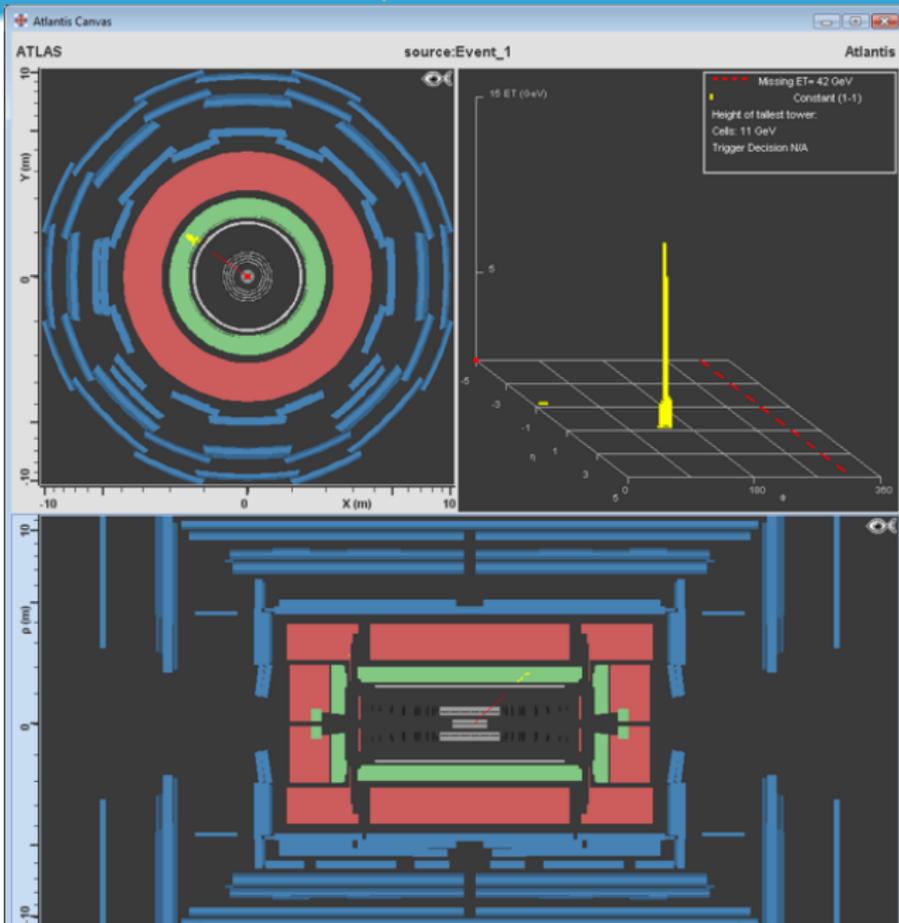


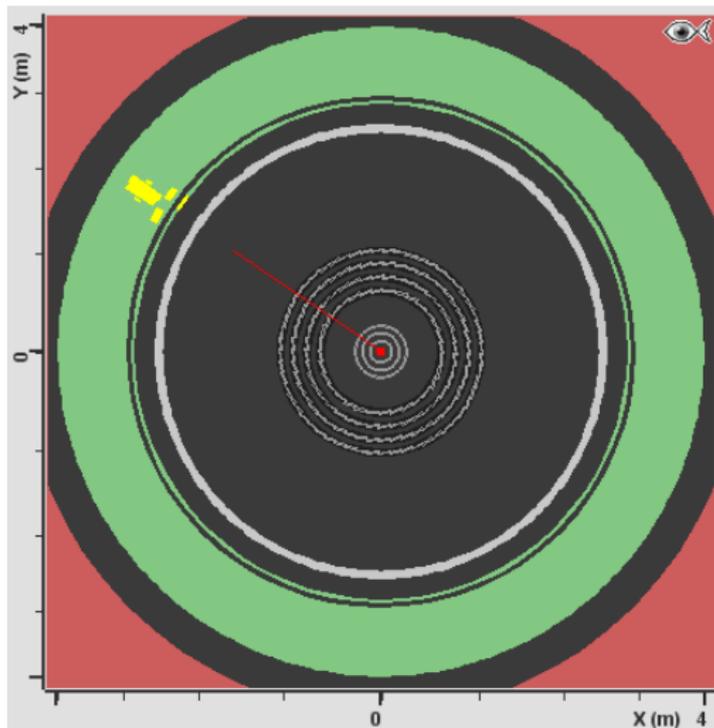
Electron et positron

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

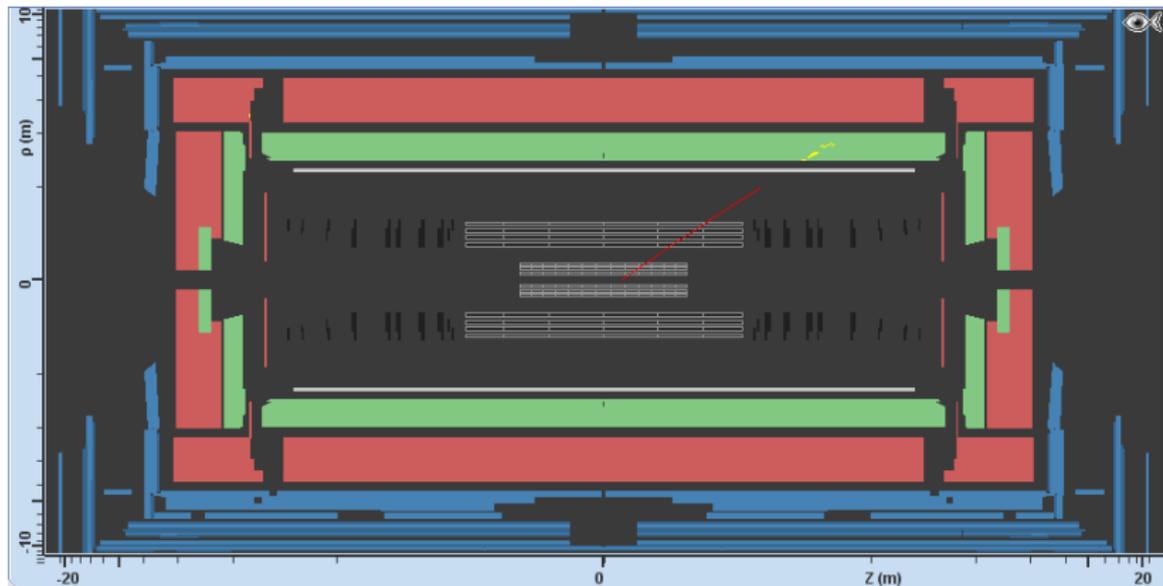


Identifier un electron/positron avec Minerva





- 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 with three main panels:

- Top Left:** ATLAS detector cross-section view with a yellow track highlighted.
- Top Right:** A 2D plot of the track's path with a legend box containing:
 - Missing ET= 42 GeV
 - Constant (1-1)
 - Height of tallest tower
 - Call: 11 GeV
 - Trigger Decision NA
- Bottom Left:** 3D view of the ATLAS detector with the track highlighted.
- Right Panel:** A control interface for the track selection. A red box highlights a hand icon. Below it 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	
- Bottom Right:** A text area containing:

```
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)

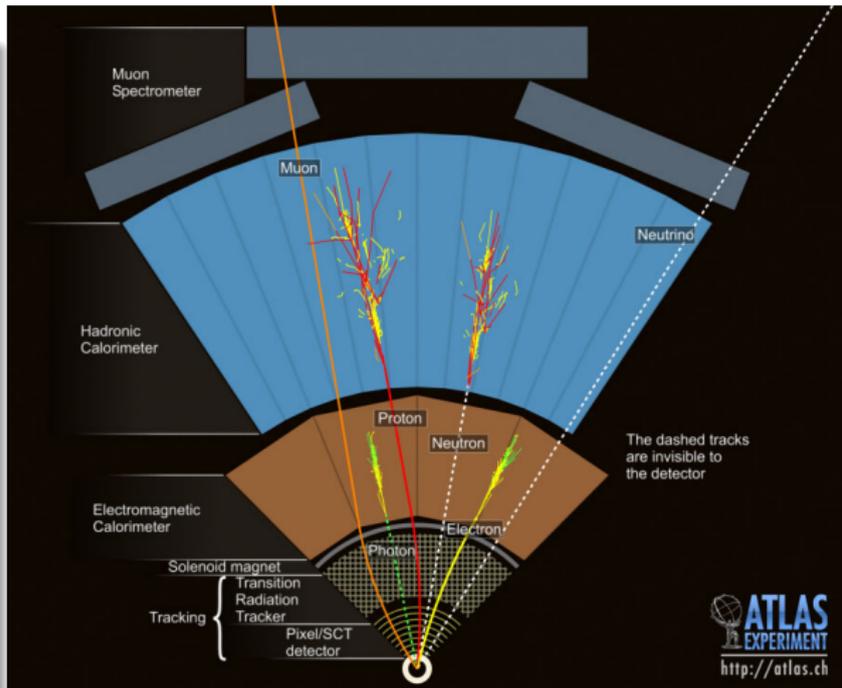
InDetTrack index: 0
PT=-42.776 GeV
η = 0.753
Φ = 145.562°
Px=-35.279 GeV
Py=24.191 GeV
Pz=35.368 GeV
numPixelHits = 3
numSCTHits = 9
numTRTHits = 19
```

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

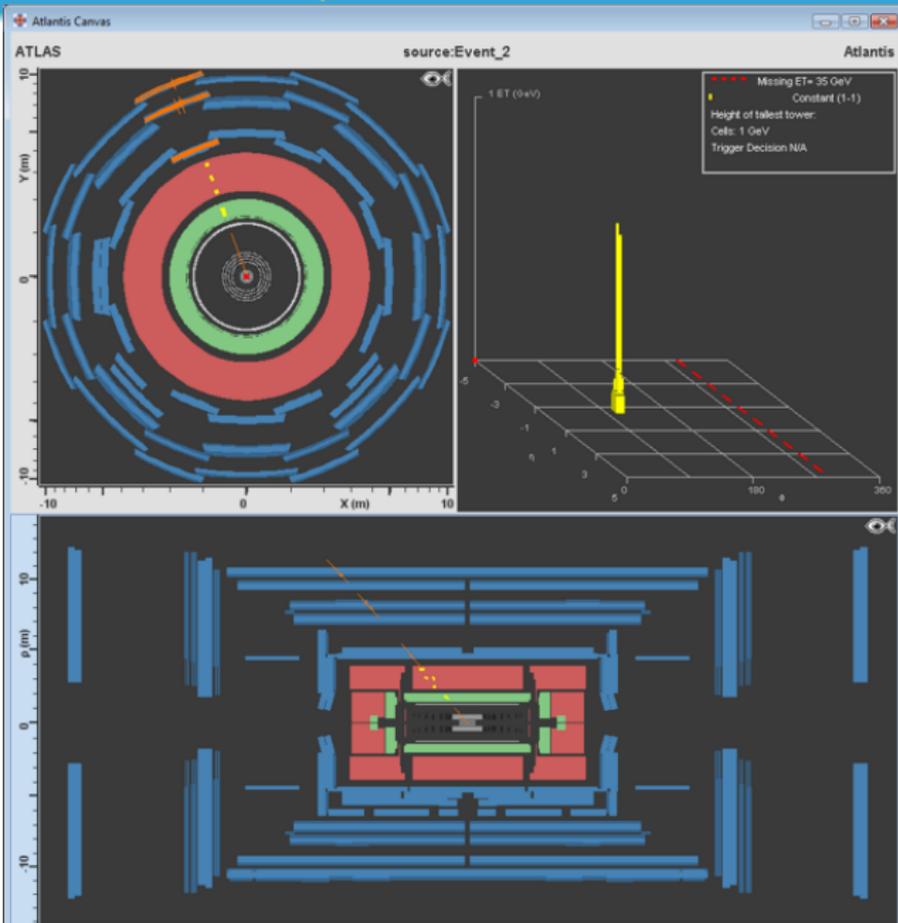
- p_T = impulsion transverse
- Le signe donne la charge de la particule
- Ici : $\ominus \Rightarrow$ c'est un électron

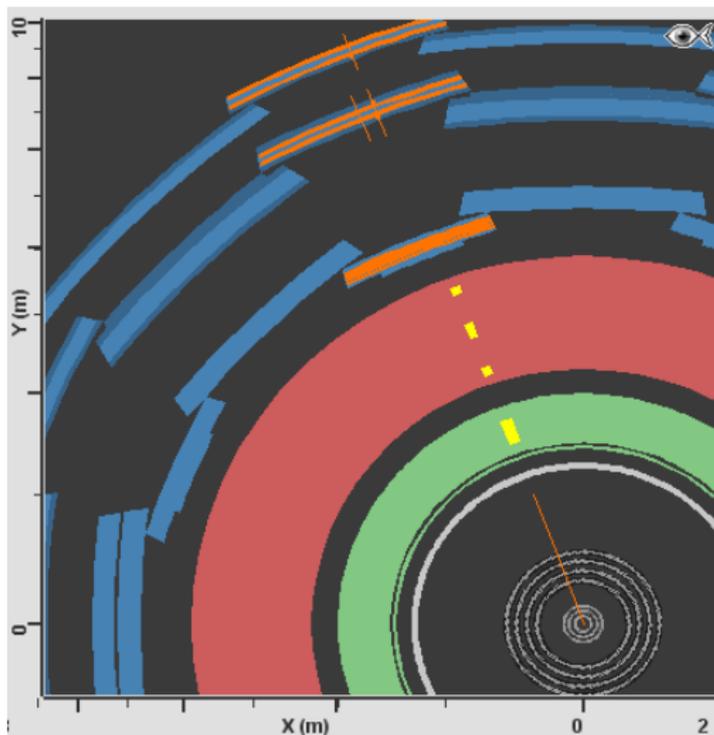
Muon et antimuon

- 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

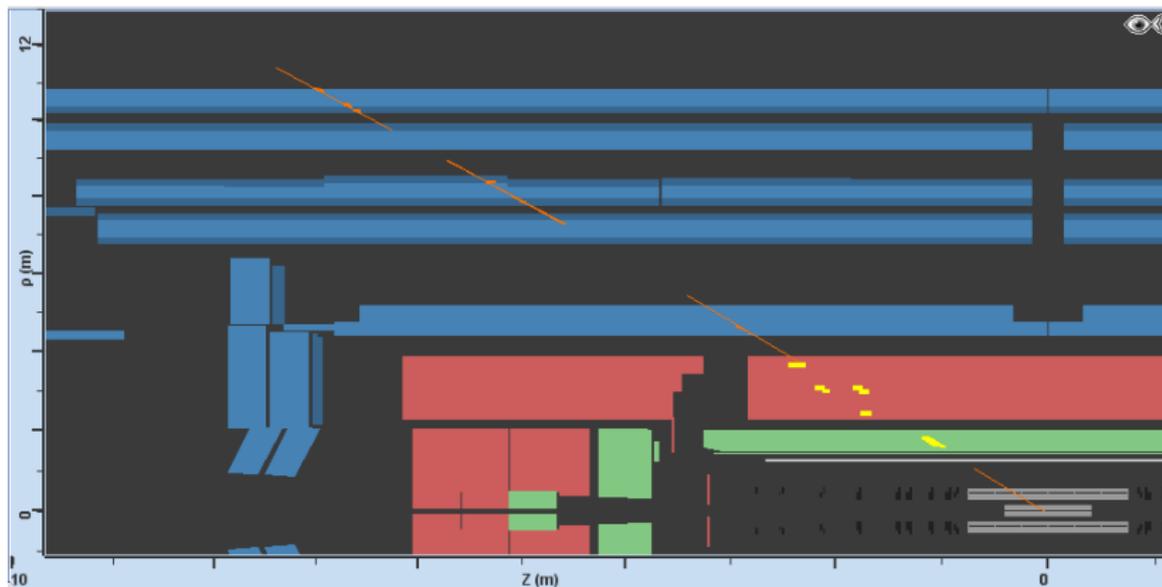


Identifier un muon/antimuon avec Minerva



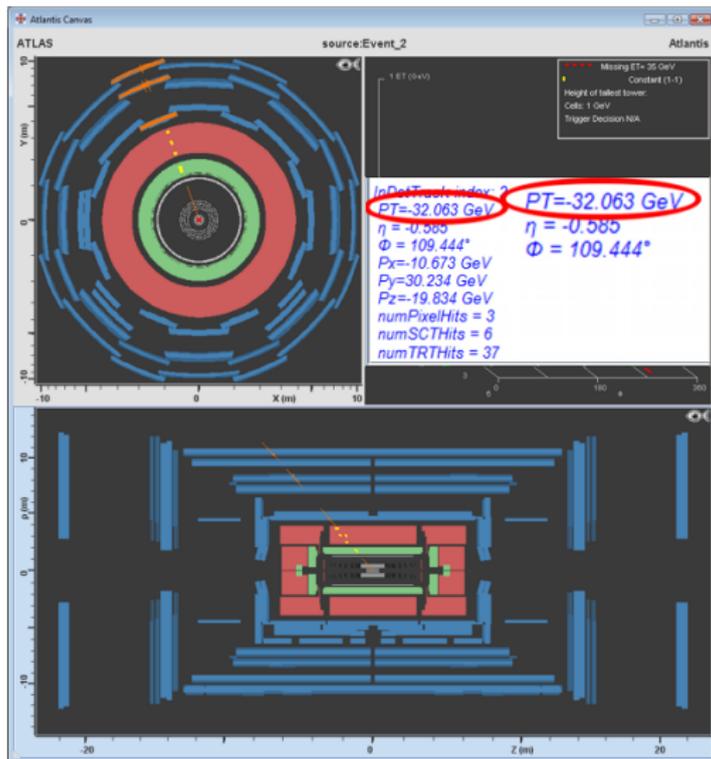


- Trace dans le trajectographe et le système des muons
- Un peu d'énergie dans les calorimètres



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

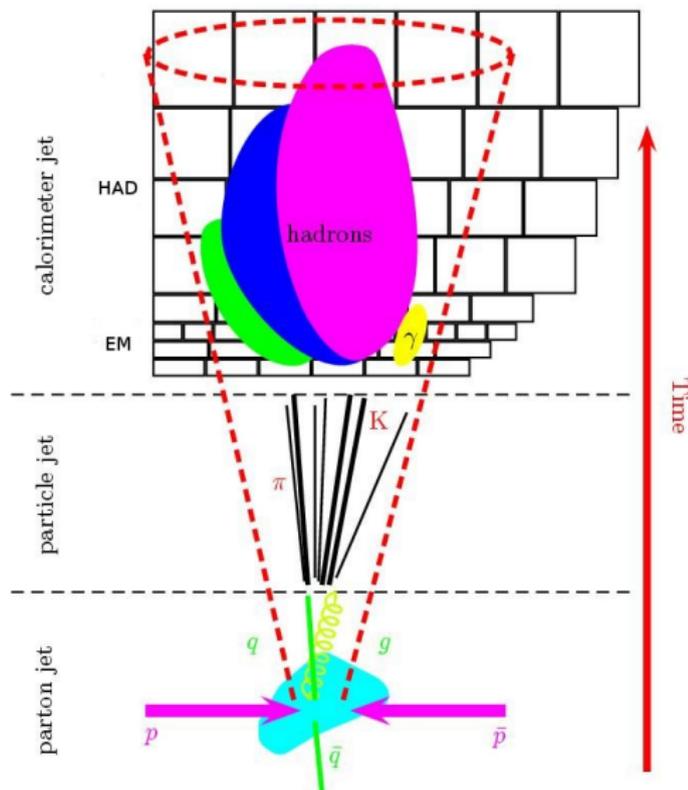
Identifier un muon/antimuon avec Minerva

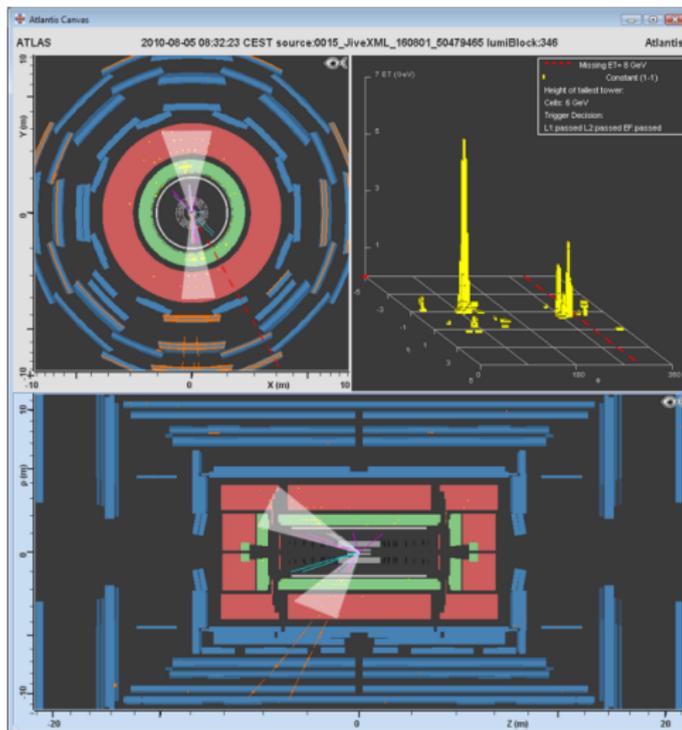


• $p_T \ominus \Rightarrow c'$ est un muon

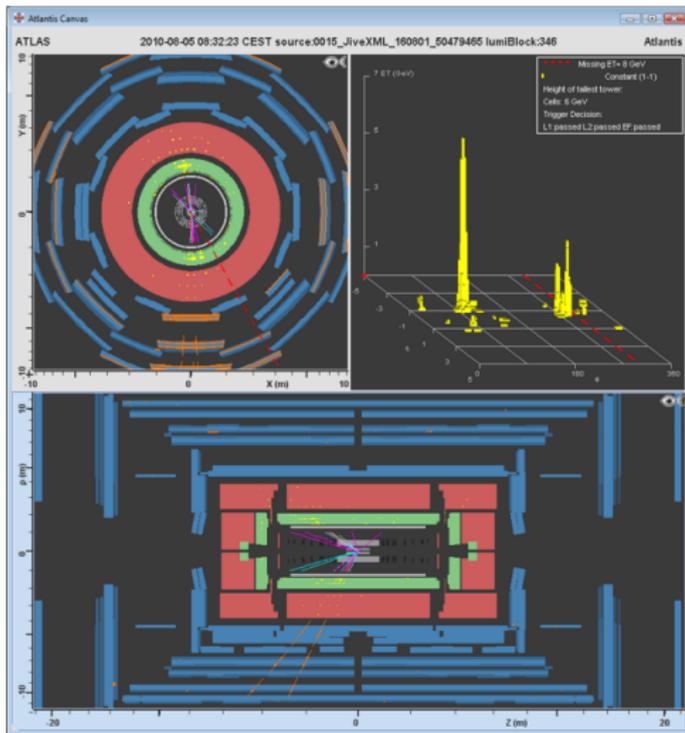
Quarks, antiquarks et gluons

- 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)



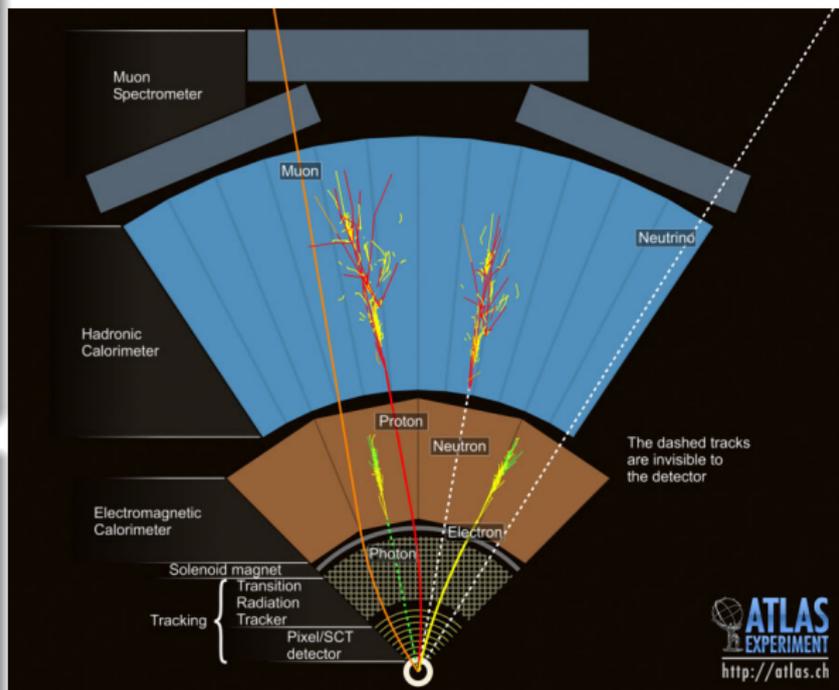
- Nombreuses particules \Rightarrow nombreuses traces
- Dépôts d'énergie des les calorimètres (surtout hadronique)

Proton/antiproton/pion

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

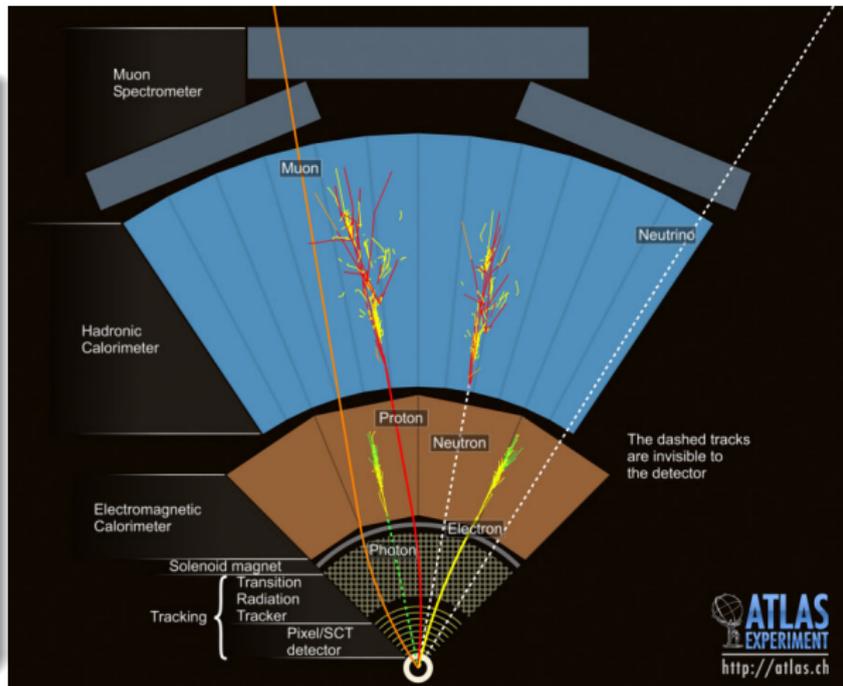
Neutron

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



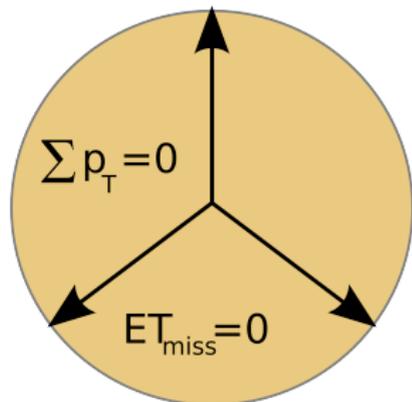
Neutrinos

- 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



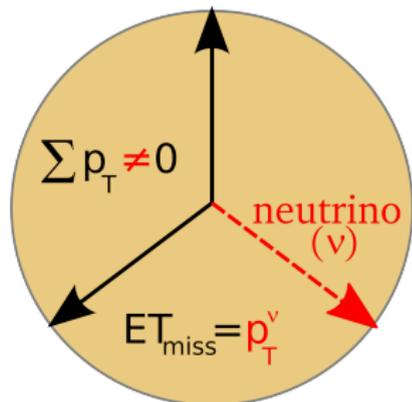
Sans neutrino

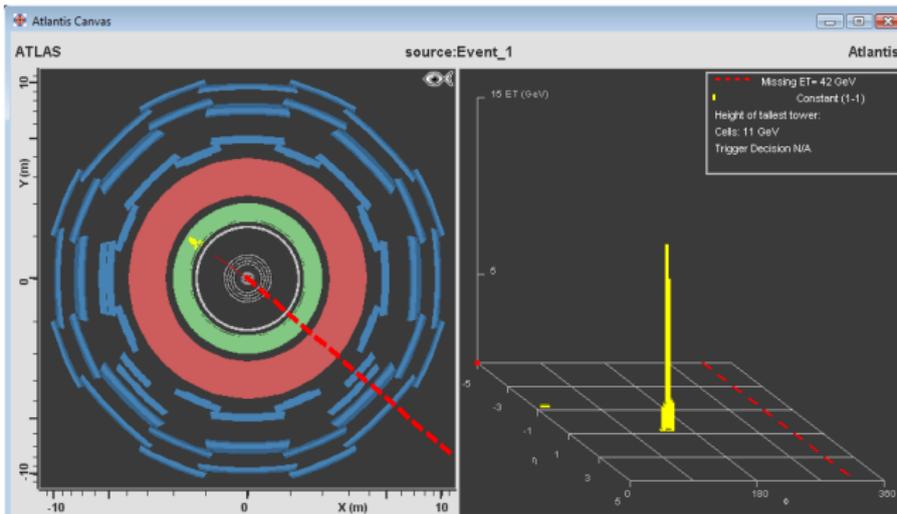
- Trois particules reconstruites
- Somme des impulsions dans le plan transverse : 0
- Donc $ET_{\text{miss}} = 0$



Avec neutrino

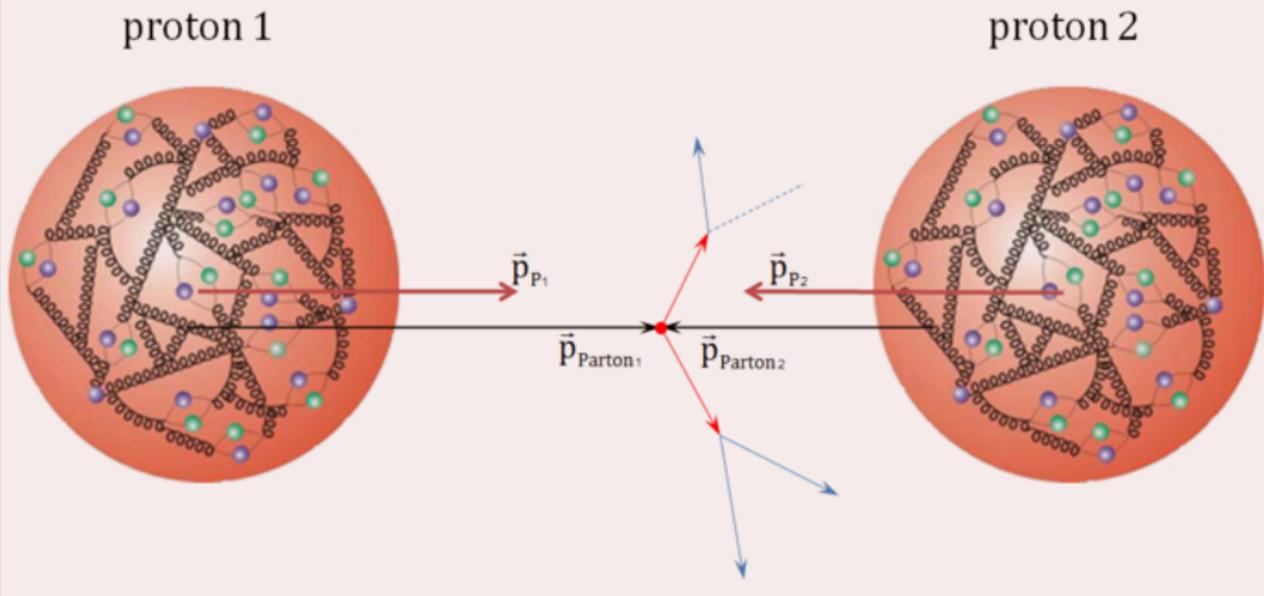
- On "voit" seulement une partie de l'événement
- La somme des impulsions n'est pas nulle
- La différence est ET_{miss} , associée au neutrino





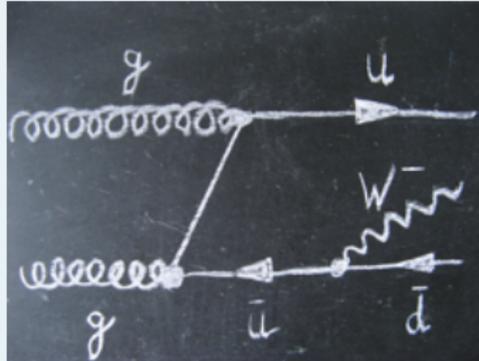
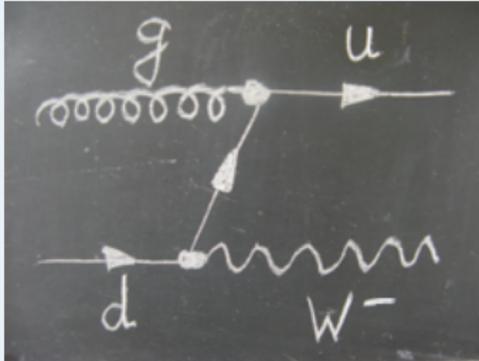
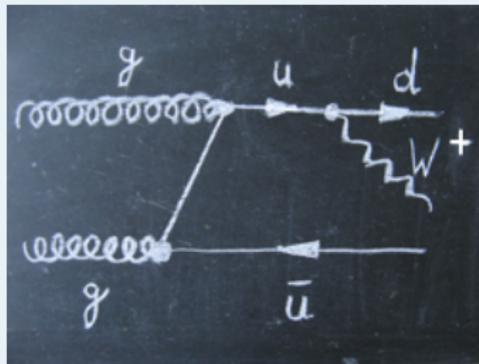
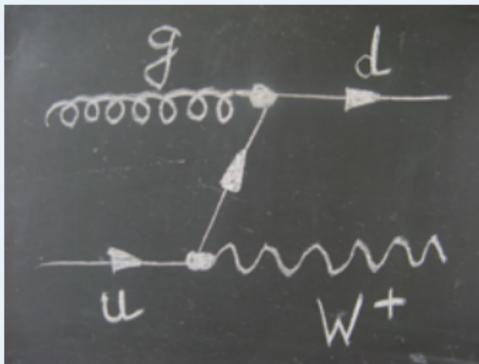
- Par conservation, la somme des impulsions dans le plan transversal vaut 0
- Sinon, “énergie transverse manquante (Missing E_T)” : particules indétectables (comme les neutrinos), non détectées ou mal mesurées (personne n’est parfait)
- Représenté par la ligne pointillée rouge, valeur en haut à droite

... et eurent beaucoup d'enfants !



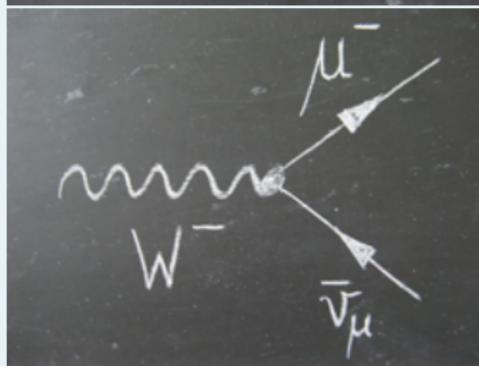
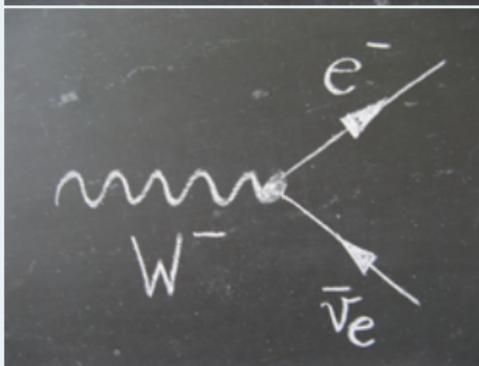
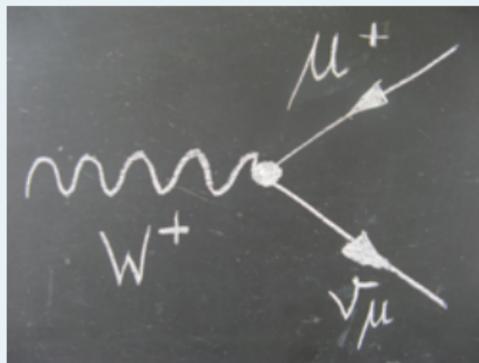
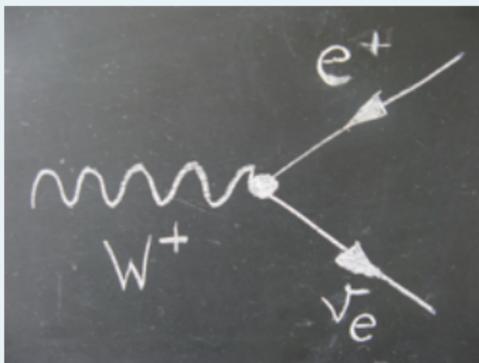
- Collision proton–proton = collision entre constituants (quarks et/ou gluons)

Comment sont-ils produits ?



- Les quarks produisent des jets

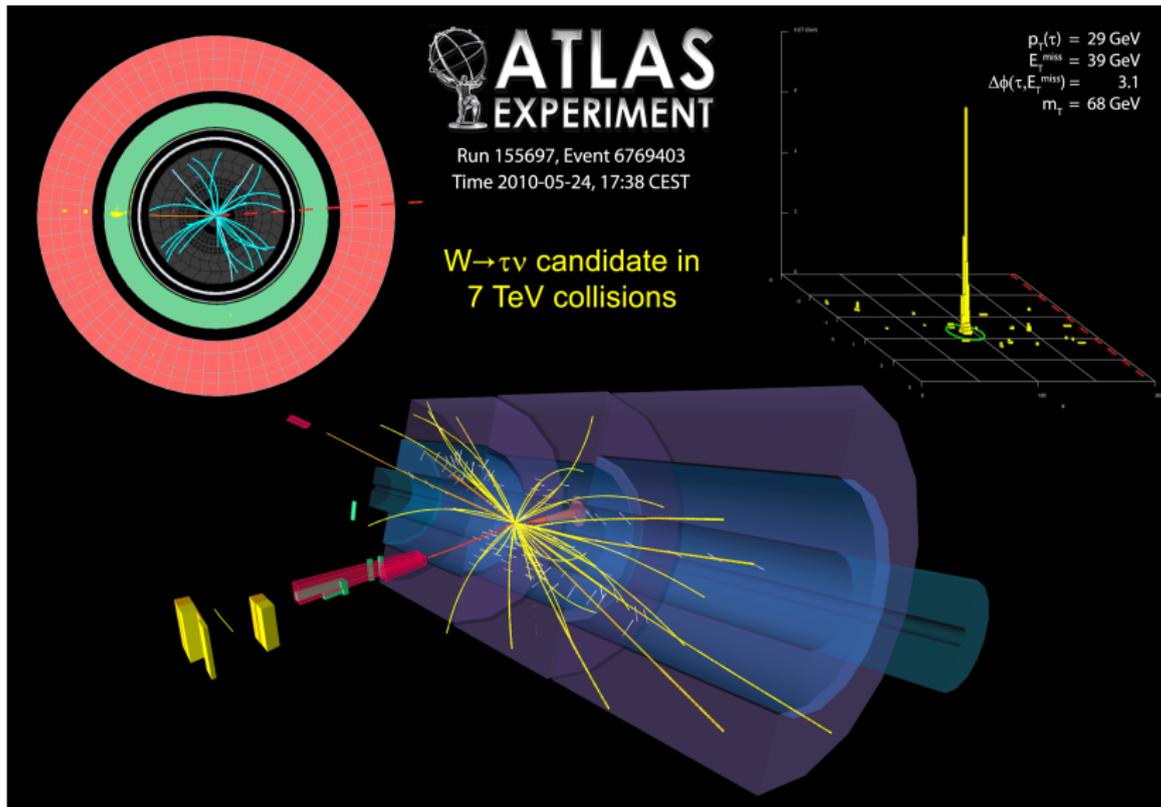
Que leur arrive-t-il ?



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



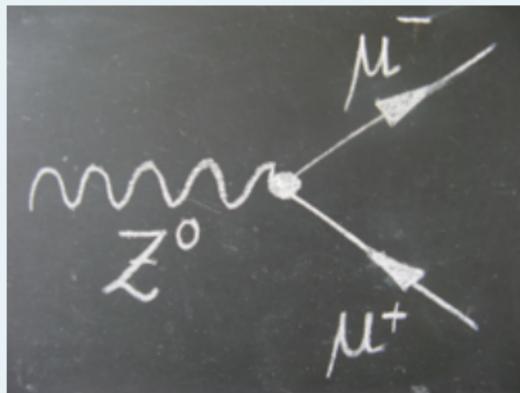
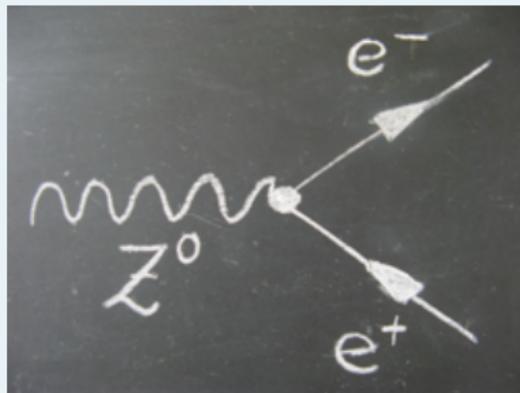
Un événement $W \rightarrow \tau\nu$ dans ATLAS



Kesako ?

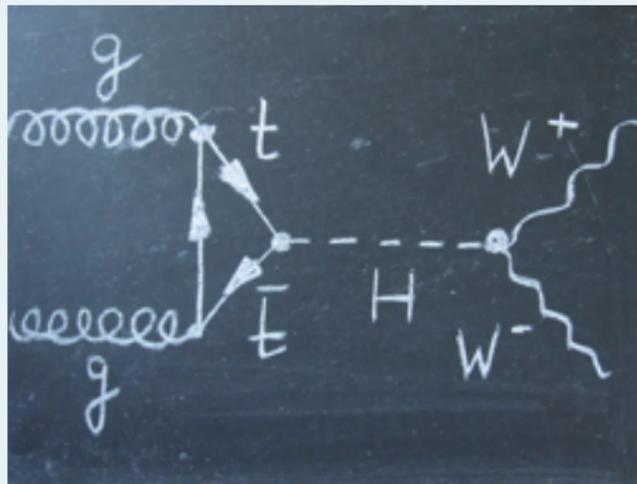
- Signature similaire à ce que l'on cherche, mais venant d'une source différente
- Peut être un vrai processus qui fournit le même état final
- Ou bien dû au fait qu'une particule n'est pas vue dans le détecteur
 - par exemple s'échappe le long du faisceau
- Ou bien à une mauvaise reconstruction dans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



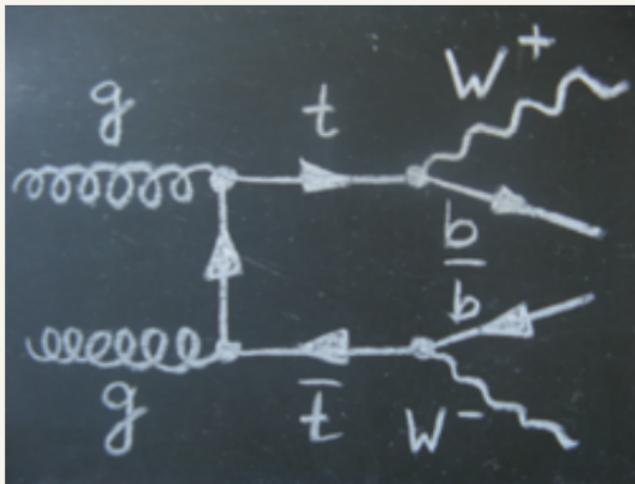
- Si on ne voit pas un des électrons ou muons, cela peut ressembler à des W
- Si on cherche des événements Z , alors les W peuvent être un bruit de fond !

Production de H



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

Bruit de fond



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

Un peu de physique : structure du proton

processus	W^+ (%)	W^- (%)	Théorie (%)
quark-gluon	<p>A Feynman diagram showing a gluon (g) splitting into a quark-antiquark pair (u and \bar{u}). The quark (u) then emits a W^+ boson.</p>	<p>A Feynman diagram showing a gluon (g) splitting into a quark-antiquark pair (d and \bar{d}). The quark (d) then emits a W^- boson.</p>	66
gluon-gluon	<p>A Feynman diagram showing two gluons (g) interacting via a quark loop (u and \bar{u}) to produce a W^+ boson.</p>	<p>A Feynman diagram showing two gluons (g) interacting via a quark loop (u and \bar{u}) to produce a W^- boson.</p>	34
Mesure	XX	YY	100

- Théorie : 66% quark-gluon, 34% gluon-gluon



Un peu de physique : structure du proton

processus	W^+ (%)	W^- (%)	Théorie (%)
quark-gluon			66
gluon-gluon	 17	 17	34
Mesure	XX	YY	100

- Théorie : 66% quark-gluon, 34% gluon-gluon
- gluon-gluon \Rightarrow autant de W^+ que de W^-

Un peu de physique : structure du proton

processus	W^+ (%)	W^- (%)	Théorie (%)
quark-gluon	 XX-17	 YY-17	66
gluon-gluon	 17	 17	34
Mesure	XX	YY	100

- Théorie : 66% quark-gluon, 34% gluon-gluon
- gluon-gluon \Rightarrow autant de W^+ que de W^-
- Dédution : % de W^+ et W^- pour les interactions quark-gluon

Un peu de physique : structure du proton

processus	W^+ (%)	W^- (%)	Théorie (%)
quark-gluon	 XX-17	 YY-17	66
gluon-gluon	 17	 17	34
Mesure	XX	YY	100

- Théorie : 66% quark-gluon, 34% gluon-gluon
- gluon-gluon \Rightarrow autant de W^+ que de W^-
- Dédution : % de W^+ et W^- pour les interactions quark-gluon
- Rapport $R^\pm = W_{qg}^+ / W_{qg}^- = \frac{XX-17}{YY-17} = n(u)/n(d)$

Un peu de physique : structure du proton

processus	W^+ (%)	W^- (%)	Théorie (%)
quark-gluon	 XX-17	 YY-17	66
gluon-gluon	 17	 17	34
Mesure	XX	YY	100

- Théorie : 66% quark-gluon, 34% gluon-gluon
- gluon-gluon \Rightarrow autant de W^+ que de W^-
- Dédution : % de W^+ et W^- pour les interactions quark-gluon
- Rapport $R^\pm = W_{qg}^+ / W_{qg}^- = \frac{XX-17}{YY-17} = n(u)/n(d)$
- Proton = $uud \Rightarrow$ on attend $R^\pm = \frac{u+u}{d} = \frac{2}{1} = 2$

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>

Amusez-vous bien
cet après-midi !