

# Rappels au cas où ...

- L'ordinateur sert uniquement à réaliser les exercices ATLAS
  - **Pas de « surf » sur internet**
  - **On ne lit pas sa messagerie**
  - **On n'envoie pas d'e-mails**
  - **On ne met pas sa page Facebook à jour**
  - **On ne télécharge rien**, ni chanson, ni film, ni ...
  - **Pas de jeu en ligne**
  - Etc. Etc. Etc.
- En fin de journée vous présenterez vos résultats à d'autres lycéens  
et à des chercheurs du LHC !
- A vous d'être **scientifiques, productifs** et ... **rigoureux !!!!**

# Exercice ATLAS Z

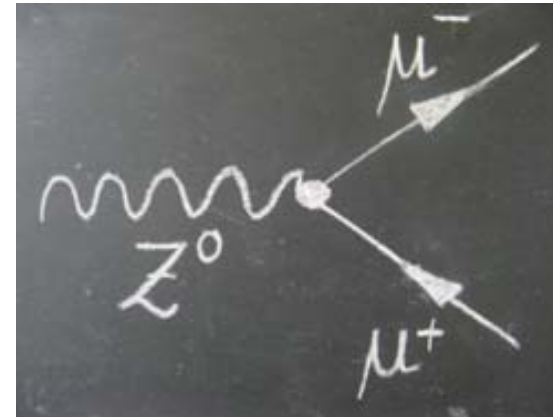
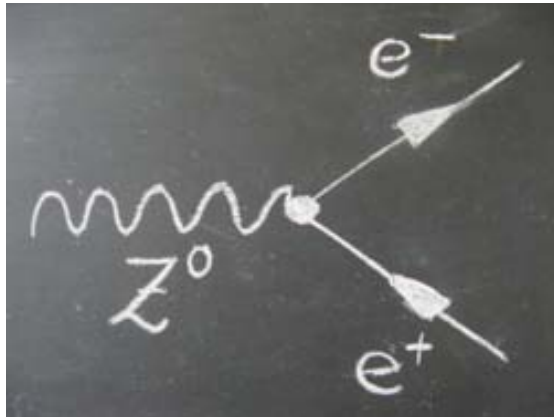
## Masterclasses 2015 au LAL

**Nicolas Arnaud** ([narnaud@lal.in2p3.fr](mailto:narnaud@lal.in2p3.fr))

- Exercice disponible sur le web : <http://atlas.physicsmasterclasses.org/fr/zpath.htm>  
→ Logiciel de visualisation des événements, données, explications détaillées, etc.
- **But : identifier des événements correspondant à un signal cherché**  
→ Désintégration de particules chargées appelées « Z »  
→ Recherche d'autres particules qui ont la même « signature de désintégration »  
→ Recherche du boson de Higgs
- **Classification des événements par catégories – des « signaux » et le « bruit de fond »**
- **Exploitation des résultats pour obtenir des informations physiques**
- **A vous de jouer** – avec quelques indications quand même !
  - **Vous** êtes les chercheurs d'un jour
  - **Nous n'avons pas la solution des exercices ...**

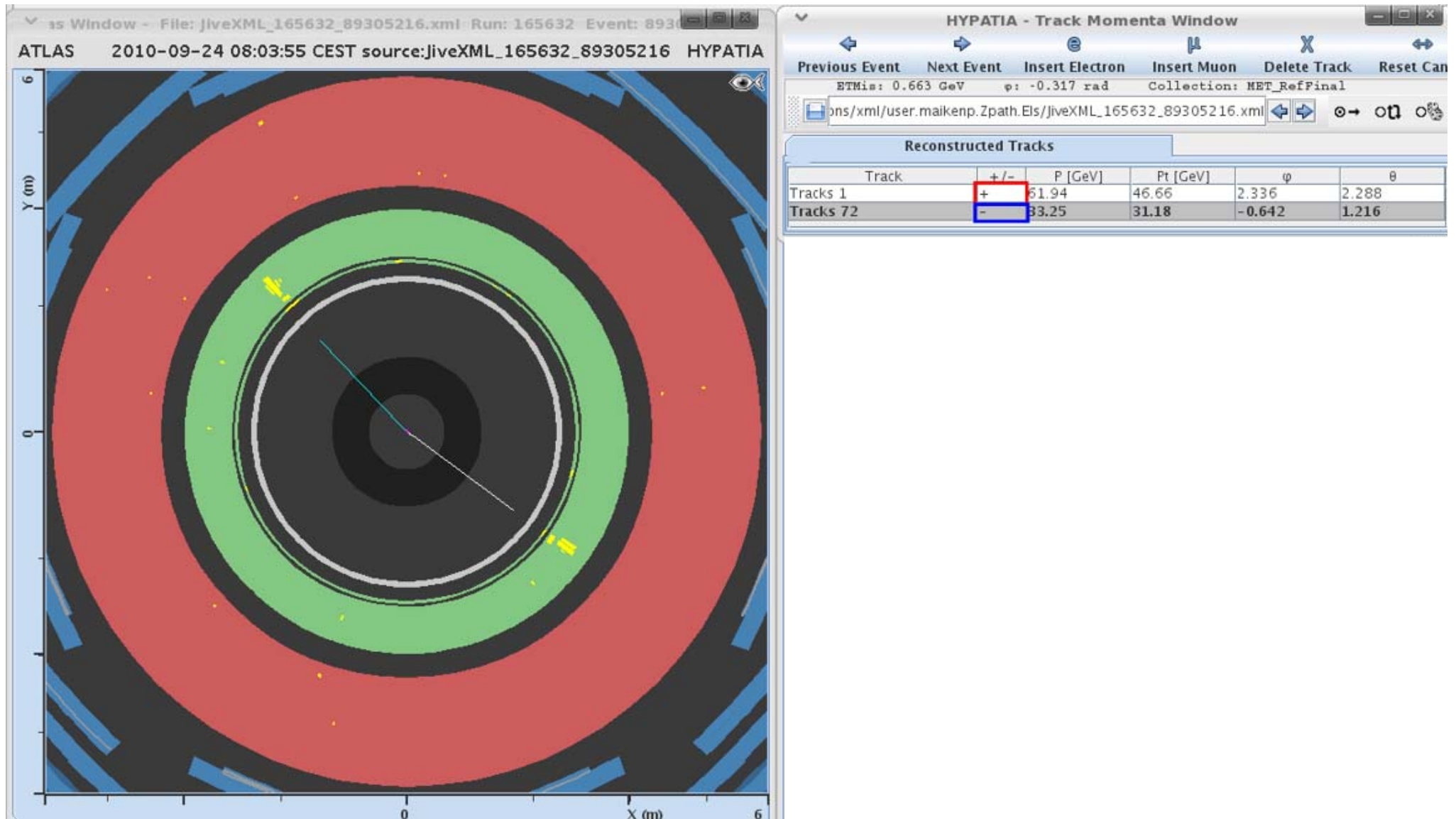
# Désintégration du boson Z

- Z (neutre) → deux leptons de charges opposées :
  - électron ( $e^-$ ) et anti-électron ( $e^+$ )
  - muon ( $\mu^-$ ) et anti-muon ( $\mu^+$ )

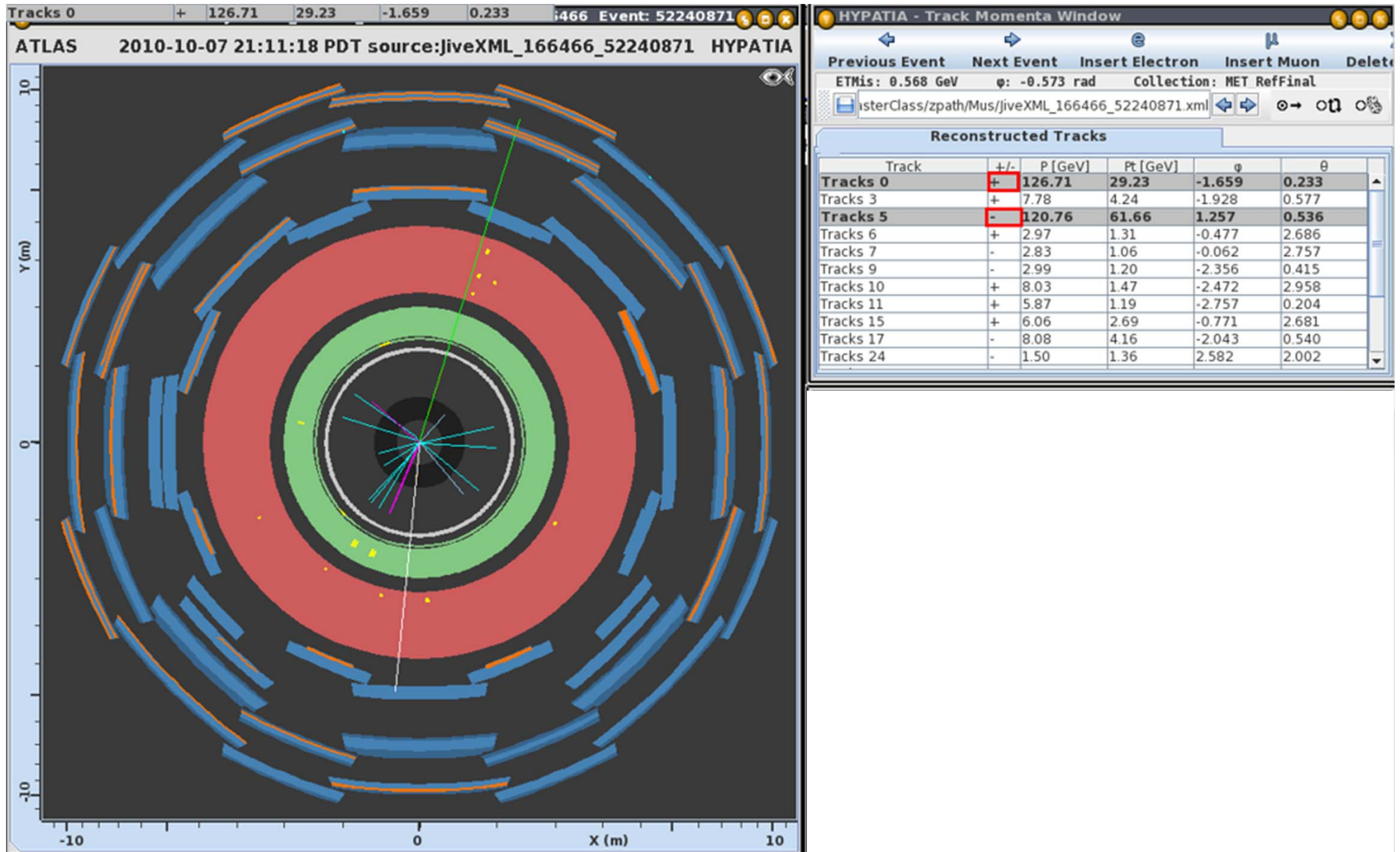


- Dans ATLAS
    - Deux traces chargées énergétiques
    - De charges électriques opposées
    - De même famille :
      - ✓ électron ( $e^-$ ) et anti-électron ( $e^+$ )
      - ✓ muon ( $\mu^-$ ) et anti-muon ( $\mu^+$ )
      - ⊗ électron ( $e^-$ ) et anti-muon ( $\mu^+$ )
      - ⊗ muon ( $\mu^-$ ) et anti-électron ( $e^+$ )
- Permis*
- Interdit*

# Exemple de désintégration $Z \rightarrow e^+e^-$



# Exemple de désintégration $Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$



# Identification des particules

- Le Z se désintègre en une paire de leptons de la même famille et de charges opposées  
→ Signature caractéristique dans un détecteur comme ATLAS
- Problème : d'autres particules ont la même signature (deux leptons)
  - Exemples connus :  $J/\psi$  (« J/Psi »),  $\Upsilon$  (« Upsilon »)
  - Une particule comme le  $Z'$  (« Z prime ») : prédite par des modèles théoriques  
jamais observée jusqu'à maintenant

⇒ Question : comment différencier ces particules ?

- Réponse : par leurs masses – toutes différentes
  - $91 \text{ GeV}/c^2$  pour le boson Z
  - Le  $J/\psi$  et l' $\Upsilon$  sont plus légers ; le  $Z'$  plus lourd (s'il existe)

⇒ Question : comment « peser » les particules ?

- Réponse : on calcule la masse de la particule « mère » à partir des propriétés des particules produites par sa désintégration (les « filles »), propriétés qui sont mesurées par ATLAS



# Mesure de la masse (invariante) d'une particule

- $E = m_0 c^2$  (Einstein, 1905) : formule valable au repos ( $v=0$ )
  - $m_0$  est la masse de la particule (au repos)
  - C'est un **invariant**, c'est-à-dire une **quantité conservée** quelle que soit la vitesse
- La **formule d'Einstein générale** est plus compliquée :  $E = \sqrt{(\vec{p} \cdot c)^2 + (m_0 \cdot c^2)^2}$ 
  - Elle fait intervenir le vecteur impulsion  $\vec{p}$ ,  
relié à la quantité de mouvement de la particule :  $\vec{p} = \gamma(v) \times m_0 \times \vec{v}$
- On peut la **réécrire** de la façon suivante :  $m_0 = \sqrt{\left(\frac{E}{c^2}\right)^2 - \left(\frac{\vec{p}}{c}\right)^2}$  est une constante
- **Lois de conservation**
  - L'**énergie** de la particule « mère » est la somme des énergies des « filles »  
→ On somme des nombres
  - L'**impulsion** de la particule « mère » est la somme des impulsions des « filles »  
→ On somme des vecteurs
- **Application** à la désintégration  $Z \rightarrow e^+e^-$  :  $m_0^{(Z)} = \sqrt{\left(\frac{(E_{e^-} + E_{e^+})}{c^2}\right)^2 - \left(\frac{\vec{p}_{e^-} + \vec{p}_{e^+}}{c}\right)^2}$ 
  - Energies et impulsions  
mesurées dans ATLAS (trajectographe + calorimètre)
  - Même procédure pour des désintégrations produisant 3, 4... particules

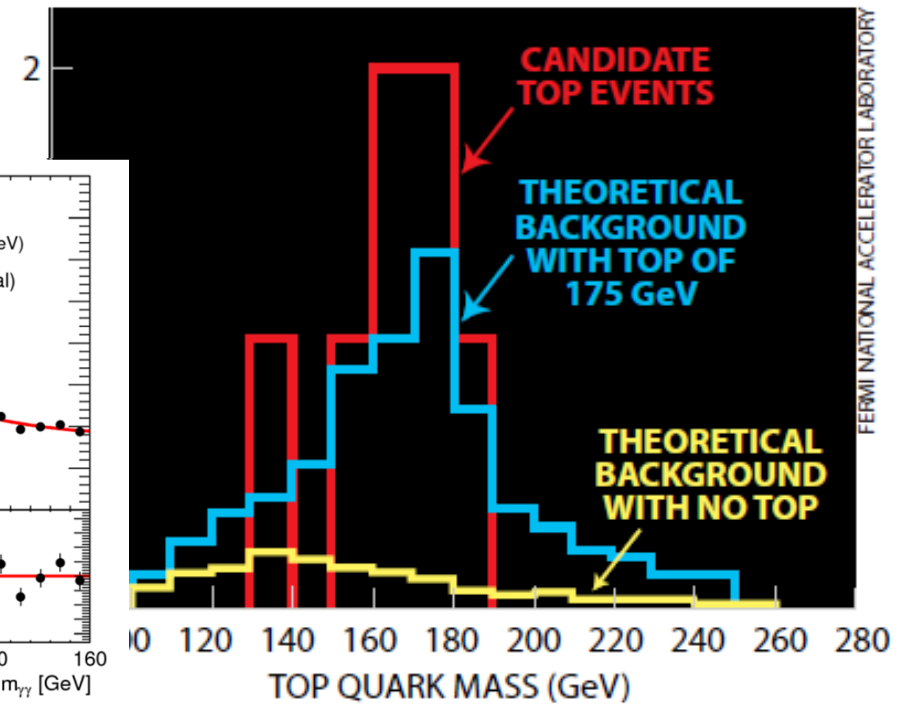
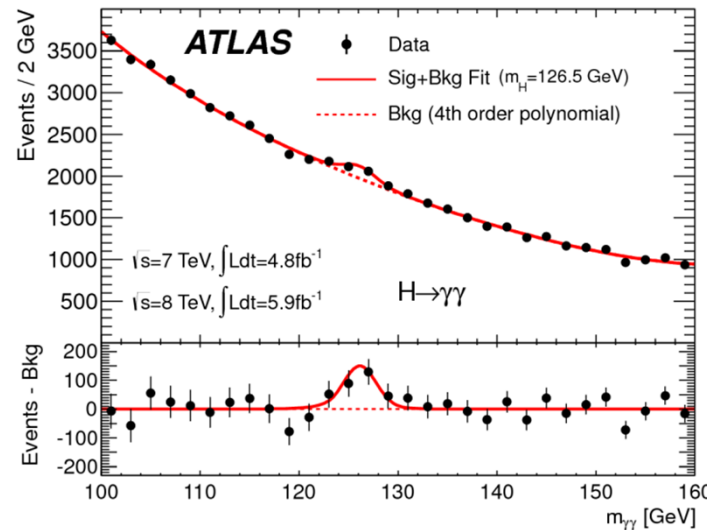
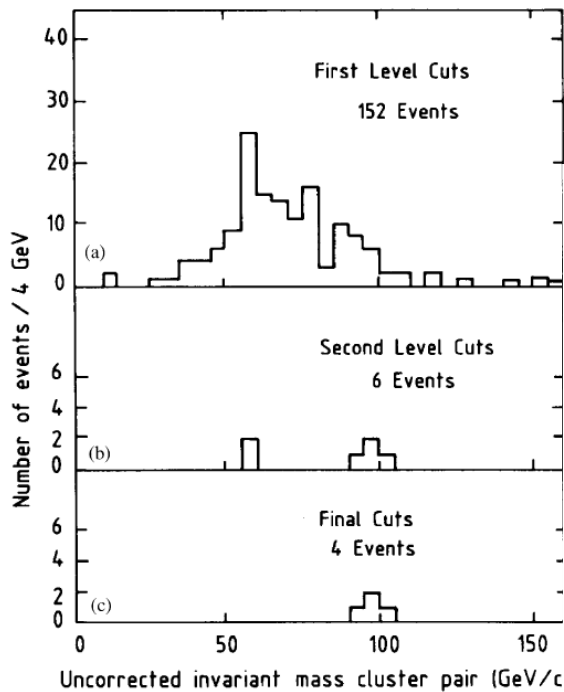
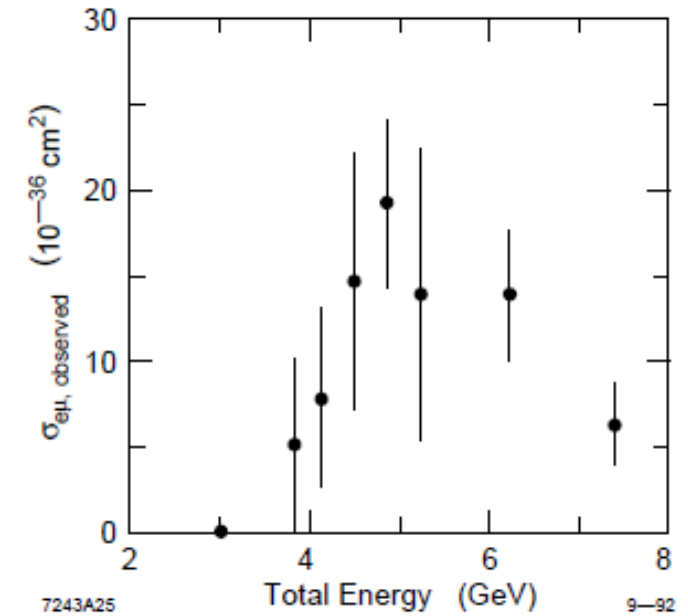
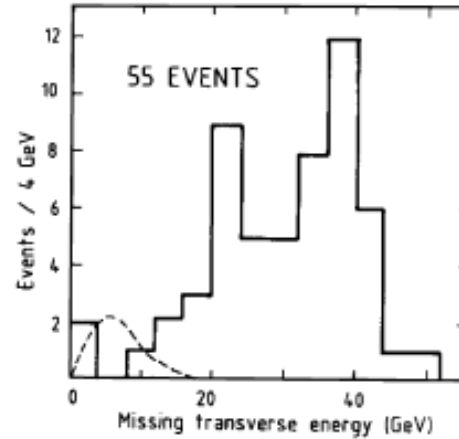
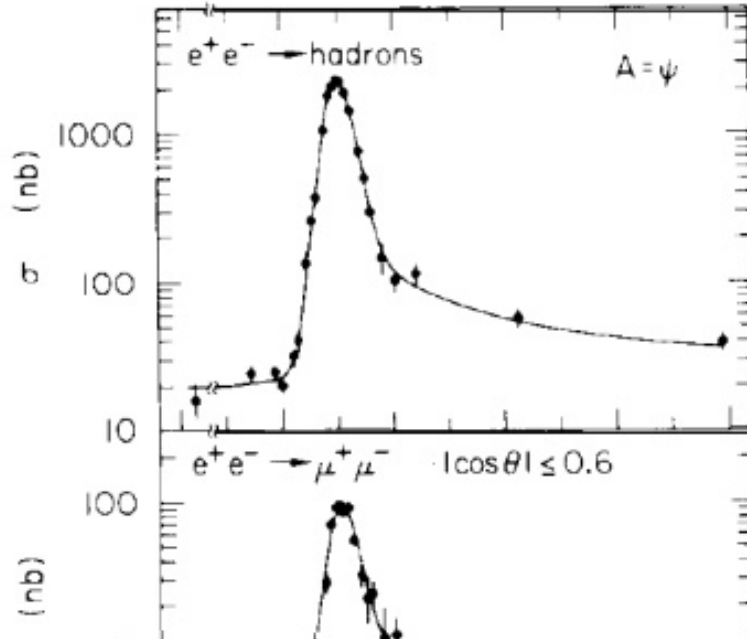
# Principe de l'exercice ATLAS Z

- **Etudier des événements enregistrés par ATLAS au LHC**
    - 50 par ordinateur – tous différents !
  - **Chercher des combinaisons de traces intéressantes dans chaque événement**
    - 2 leptons de même famille et de charges opposées  
→ Identifier les bosons Z et les particules laissant une signature du même type
    - 4 leptons : 2 paires de leptons de même famille et de charges opposées  
→ 3 possibilités :  $e^+e^- e^+e^-$      $e^+e^- \mu^+\mu^-$      $\mu^+\mu^- \mu^+\mu^-$
    - 2 photons
- } Signatures possibles pour un boson de Higgs !!!
- **Entrer ces combinaisons de traces dans une feuille de calcul**
    - Calcul automatique de la masse invariante associée
  - **Mise en commun des résultats à deux niveaux**
    - **Local** : on rassemble les données des 40 lots de données étudiés au LAL aujourd'hui – potentiellement 2000 événements
    - **Global** : on combine les résultats des laboratoires participant à une Masterclasse aujourd'hui – 6000 événements
  - **Etude des histogrammes montrant la répartition de ces masses**





# Histoires d'histogrammes ...



# Méthode

- **Prise en main du logiciel Hypatia de visualisation d'événements**
  - Les différentes fenêtres, les principales commandes & actions à effectuer
- **Entraînement sur 10 événements tests**
  - Auto-correction disponible
- **Chargement et étude d'un lot de 50 événements par ordinateur**
  - Défini par le **numéro de l'échantillon** et la **lettre collée sur votre écran** (de A à T)
  - Utilisez la **feuille de résultats « papier »** pour noter votre progression
  - **Privilégiez la qualité de votre analyse sur la quantité d'événements traités**
    - N'hésitez pas à nous solliciter si vous avez des questions
  - **Vous devriez trouver très peu d'événements « 4 leptons »**
  - **Et très peu d'événements de bruit de fond**
    - C'est-à-dire sans paire de traces intéressante
- **Envoi de vos résultats (calculs de masse) par internet**
- **Analyse et discussion des histogrammes produits automatiquement**
  - Vous devrez les présenter lors de la **vidéoconférence** à venir
    - **Volontaires pour parler anglais !**

# En résumé

- Choisissez une coupure à 5 GeV sur  $p_T$
- Etudiez les traces et les objets physiques restants et déterminez si ce sont des muons, des électrons ou des photons
- Utilisez les deux vues et les fonctions de zoom pour faire la différence entre les traces simples et doubles (issues par exemple d'un photon converti)
- Regardez si la masse invariante d'une trace double est compatible avec zéro et donc avec un photon converti
- Si besoin, demandez au-moins 2 pixels touchés et/ou 7 coups dans le SCT pour vérifier que les traces simple ou double viennent d'un vertex primaire
- Vérifiez que les traces que vous avez sélectionnées proviennent d'un vertex commun

