



Performances du spectromètre à muons d'ATLAS et perspectives pour l'alignement

Nayanka Bolnet
(Encadrement : Claude Guyot – Henri Bachacou)
CEA – Saclay

Journées Jeunes Chercheurs 2010
22 novembre 2010



Plan

- I. Le LHC et l'expérience ATLAS
- II. Le spectromètre à muons
 1. Reconstruction
 2. Alignement
- III. Étude de résolution du détecteur avec le boson Z
- IV. Perspectives pour l'alignement
- V. Vers l'analyse physique : le Z' en deux muons
- VI. Conclusion



Présentation de l'accélérateur LHC

➤ Large Hadron Collider (LHC)

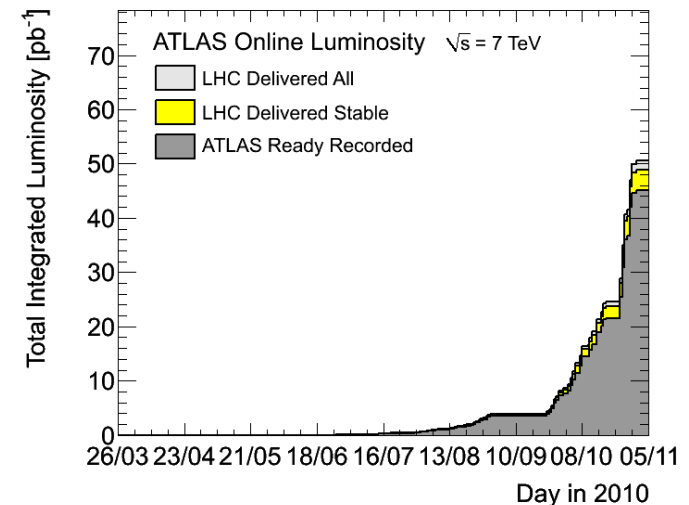
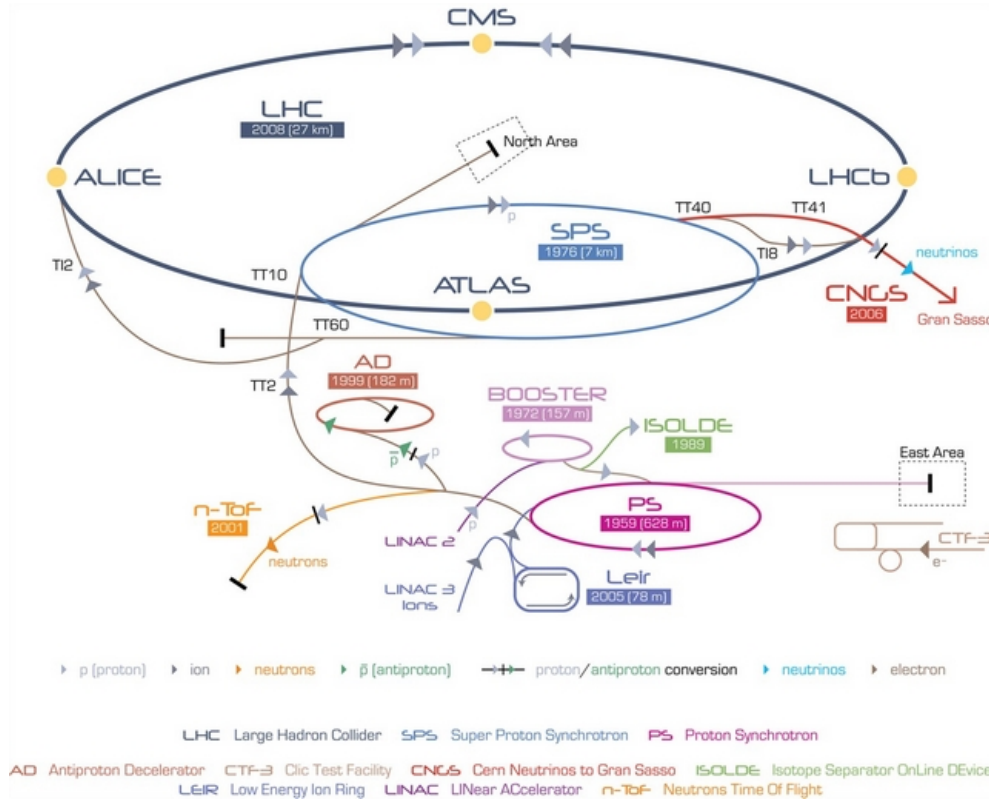
- Collisionneur proton-proton situé au CERN
- Prévus pour une énergie dans le centre de masse nominale $\sqrt{s} = 14$ TeV et luminosité instantanée jusqu'à $10^{34} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

➤ Statut actuel

- Fonctionnement pour des collisions à 7 TeV depuis le 30 mars 2010
- Luminosité instantanée maximale atteinte : $2 \cdot 10^{32} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

$$L = \frac{N_e (\text{nb total d'événements/s})}{\sigma_T (\text{section efficace totale})}$$

- Luminosité intégrée enregistrée par l'expérience ATLAS : $\mathcal{L} = 45.03 \text{ pb}^{-1}$
- Objectif : $\mathcal{L} = 1 \text{ fb}^{-1}$ pour fin 2011





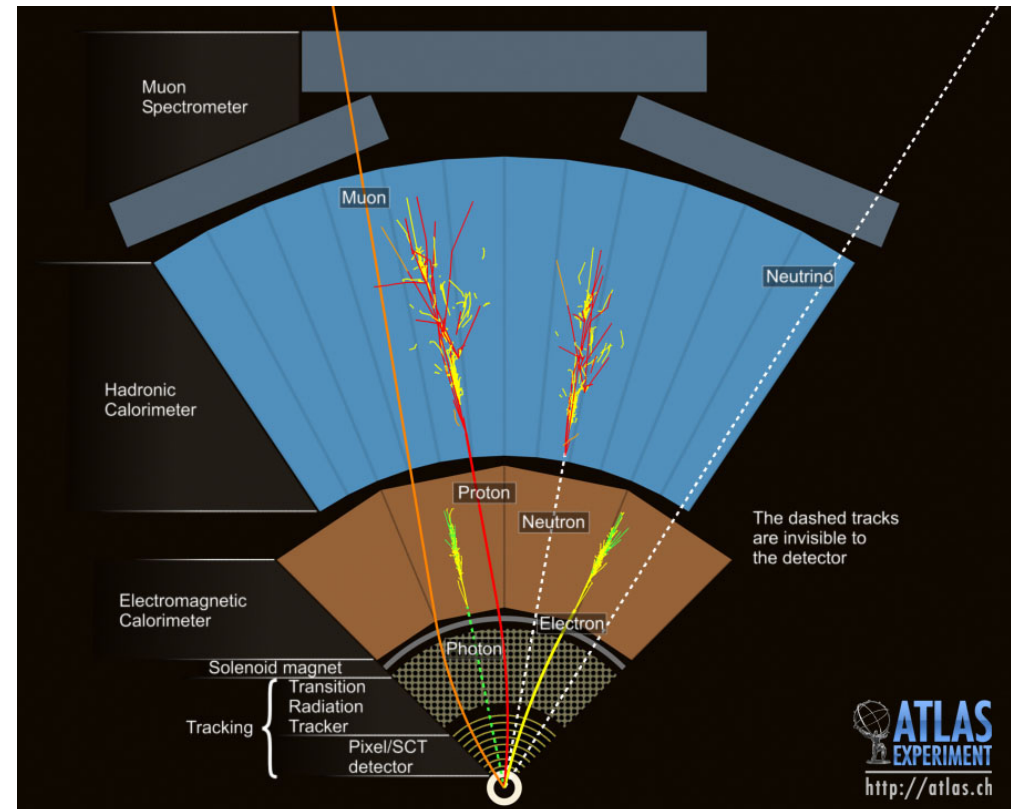
Le détecteur ATLAS

➤ Une succession de détecteurs pour chaque type de particules :

- Détecteur interne → trajectographe détecte les particules chargées, mesure à l'aide d'un champ magnétique solénoïdal
- Calorimètre électromagnétique → mesure l'énergie des photons et des électrons
- Calorimètre hadronique → hadrons visibles dans ce détecteur sous forme de *jets*
- **Spectromètre à muons** → mesure d'impulsion des muons à l'aide d'un champ magnétique toroïdal

➤ Couverture maximale :

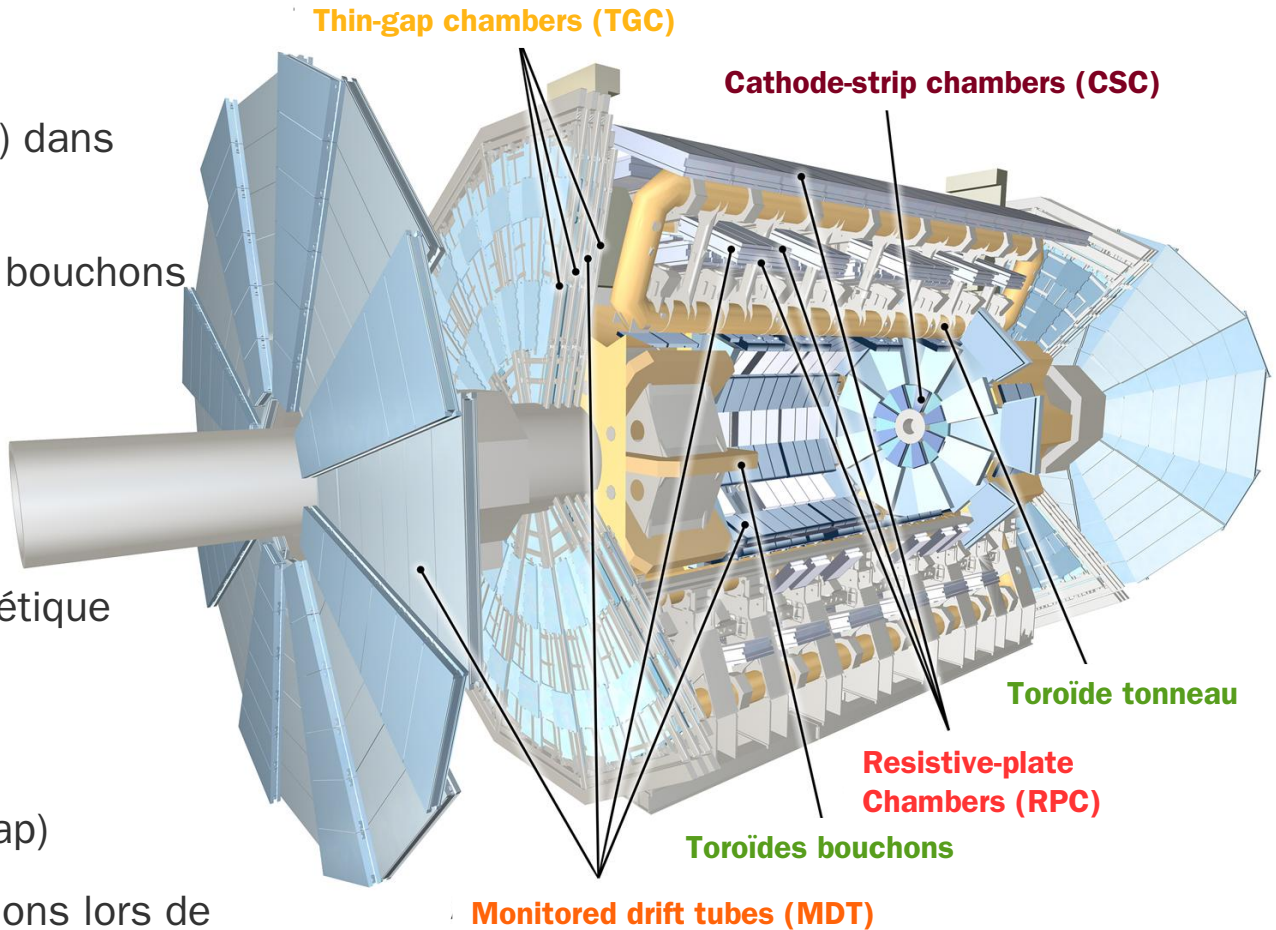
- Tonneau
- 2 Bouchons





Le spectromètre à muons (MS)

- ~ 2000 chambres au total
- Chambres de déclenchement :
 - **Resistive Plate Chambers (RPC)** dans tonneau
 - **Thin-gap Chambers (TGC)** dans bouchons
- Chambres de précision :
 - **Monitored Drift Tubes (MDT)**
 - **Cathode Strip Chambers (CSC)**
- **Système d'aimants** → champ magnétique toroïdal fournissant $B \sim 0.5$ Tesla
 - Une bobine tonneau (barrel)
 - Deux bobines bouchons (end-cap)
- Un muon traverse en général 3 stations lors de son passage dans le spectromètre





Reconstruction des muons par les MDT

➤ Interaction du muon dans le détecteur ATLAS

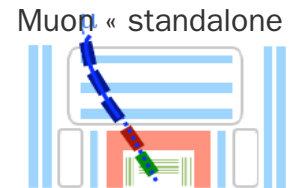
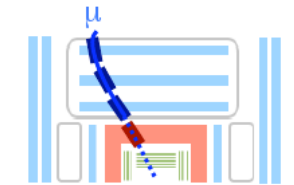
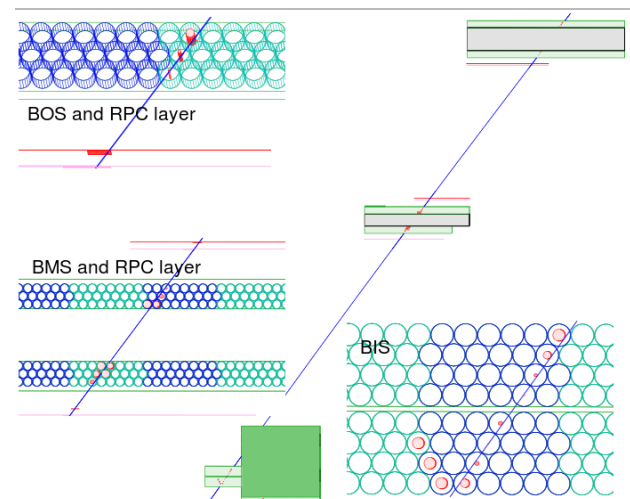
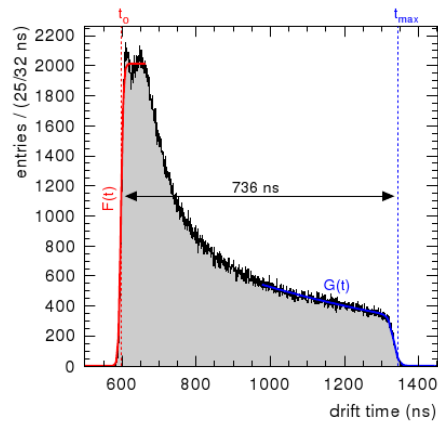
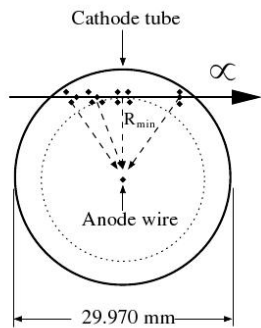
- Trace dans le détecteur interne
- Faible dépôt d'énergie dans les calorimètres
- Trace dans le spectromètre à muons

➤ Reconstruction du muon dans les MDT

- Stations MDT composées de tubes à dérive
- Ionisation du gaz de la chambre à dérive
- Mesure du temps de l'avalanche créée + connaissance de la vitesse de dérive (relation RT calibrée) → rayon d'ionisation

➤ Reconstruction : construction d'une trajectoire à partir des cercles d'ionisation

- Recherche de zones d'intérêt avec les coups dans les chambres de déclenchement
- Construction de segments dans les chambres à partir des rayons de dérive
- Reconstitution de la trajectoire à partir des segments par un ajustement prenant en compte la matière traversée et le champ magnétique
- Éventuellement combinaison avec trace du détecteur interne



Muon « taggé »



W → μν candidate in 7 TeV collisions

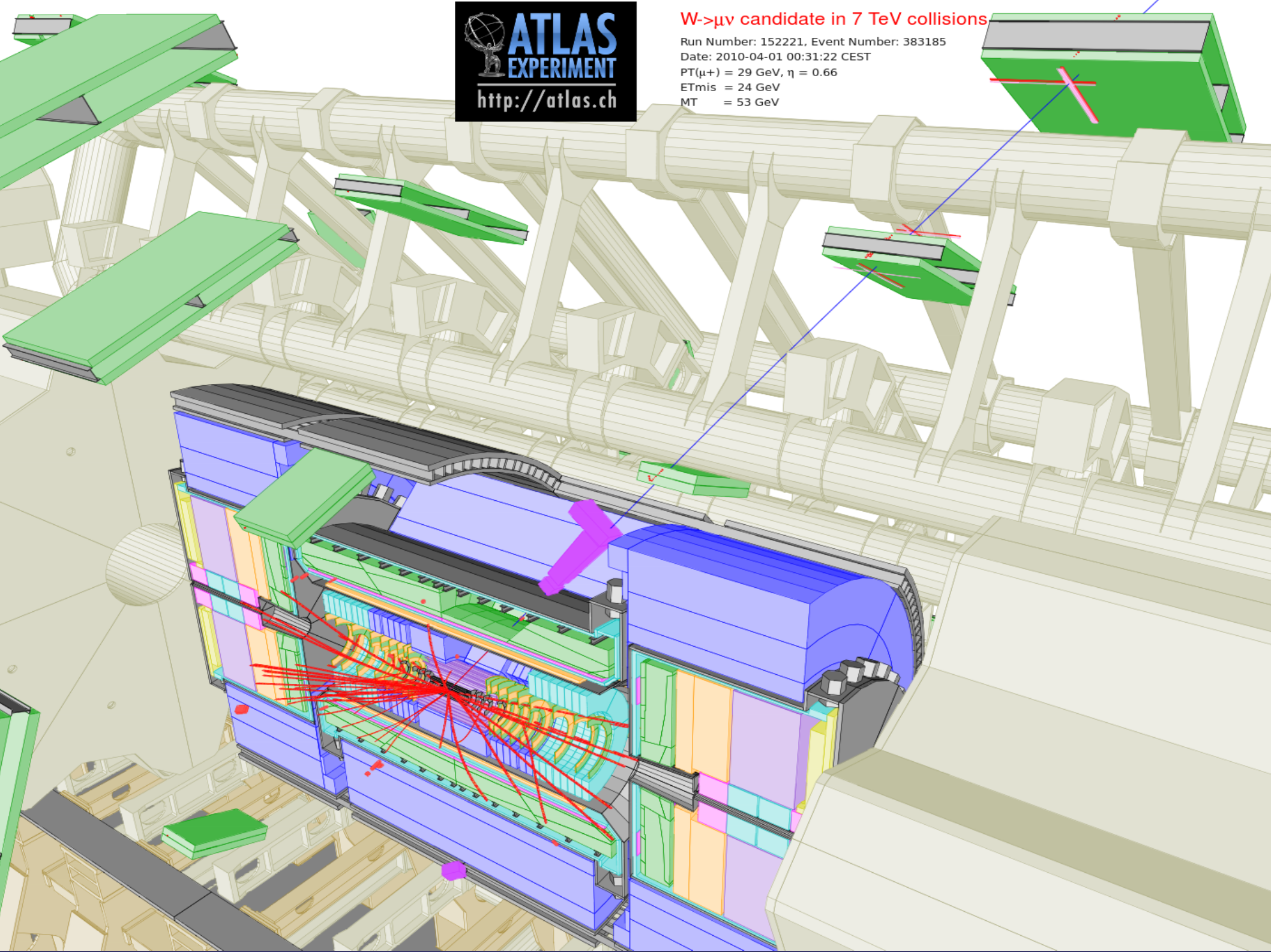
Run Number: 152221, Event Number: 383185

Date: 2010-04-01 00:31:22 CEST

PT(μ+) = 29 GeV, η = 0.66

ETmiss = 24 GeV

MT = 53 GeV

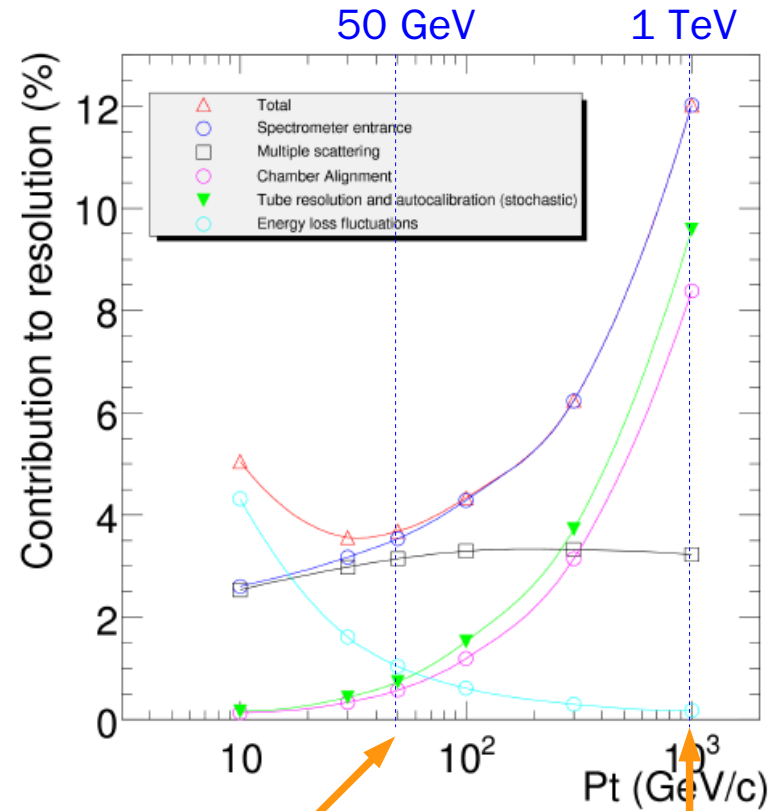
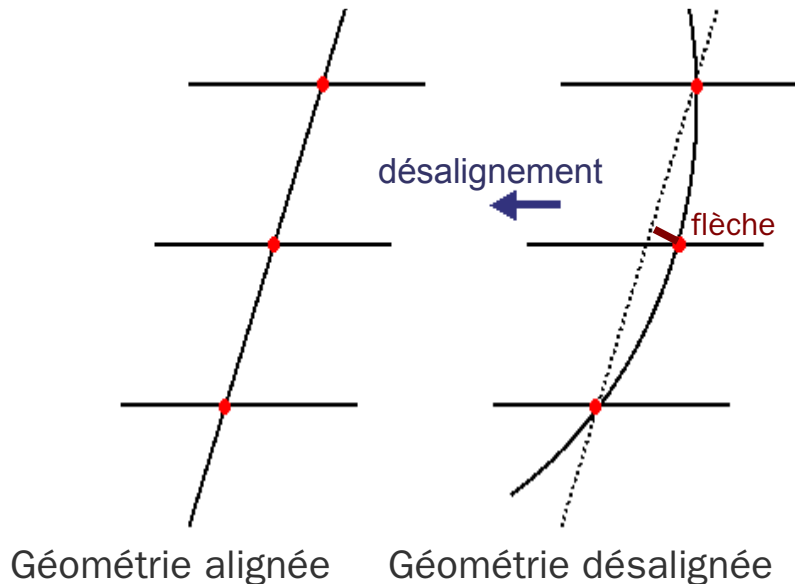




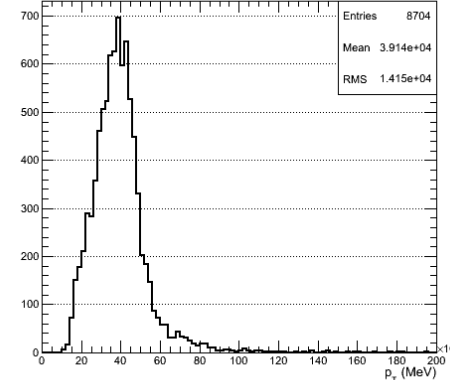
Motivations de l'alignement du spectromètre

- Résolution en impulsion attendue : 10% à 1 TeV c.-à-d. précision de **50 microns** pour une flèche de 500 microns
- Contributions à la résolution de la flèche à 1 TeV :
 - 35 microns ← résolution intrinsèque des MDT
 - 11 microns ← diffusion multiple dans MS
- position des chambres doit être connue à **30 microns**

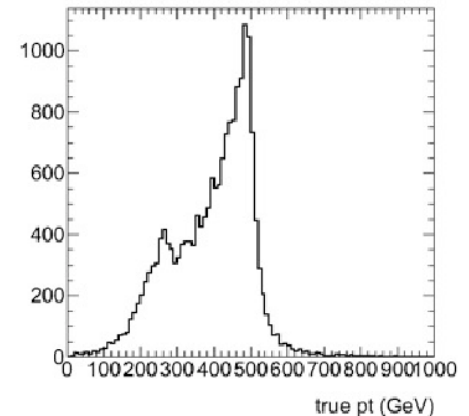
Reconstruction d'une trace droite (sans champ)



Spectre p_T muons issus du Z



1 TeV Z' spectrum





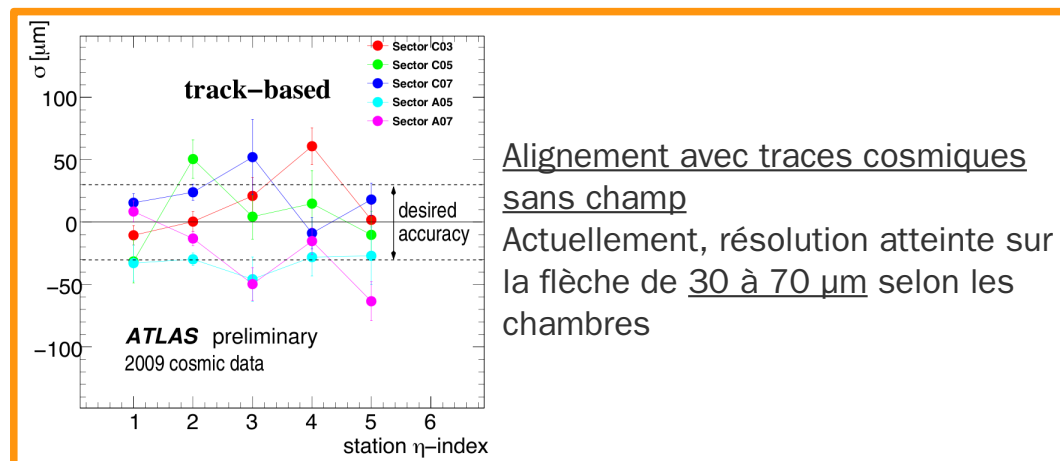
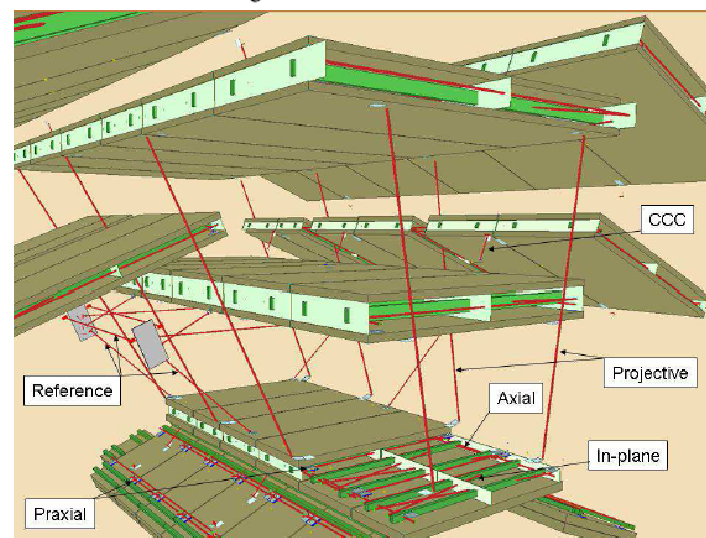
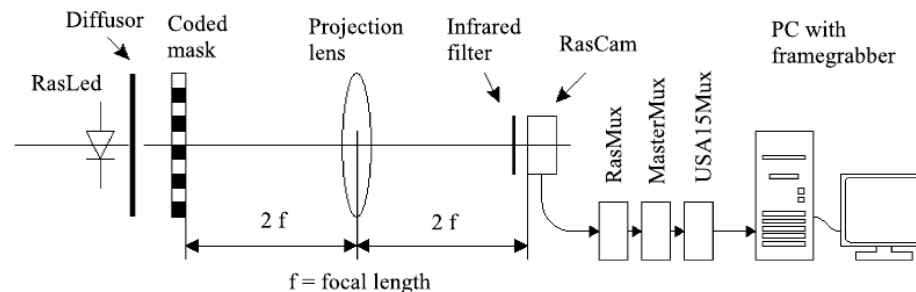
Méthode d'alignement

➤ Alignement optique avec des capteurs

- Résolution intrinsèque de $99 \mu\text{m}$
- Mais connaissance imparfaite de la position des capteurs \rightarrow limitation à $\sim 100 \mu\text{m}$
- A partir d'un alignement initial, suivi dans le temps précis à $\sim 10 \mu\text{m}$

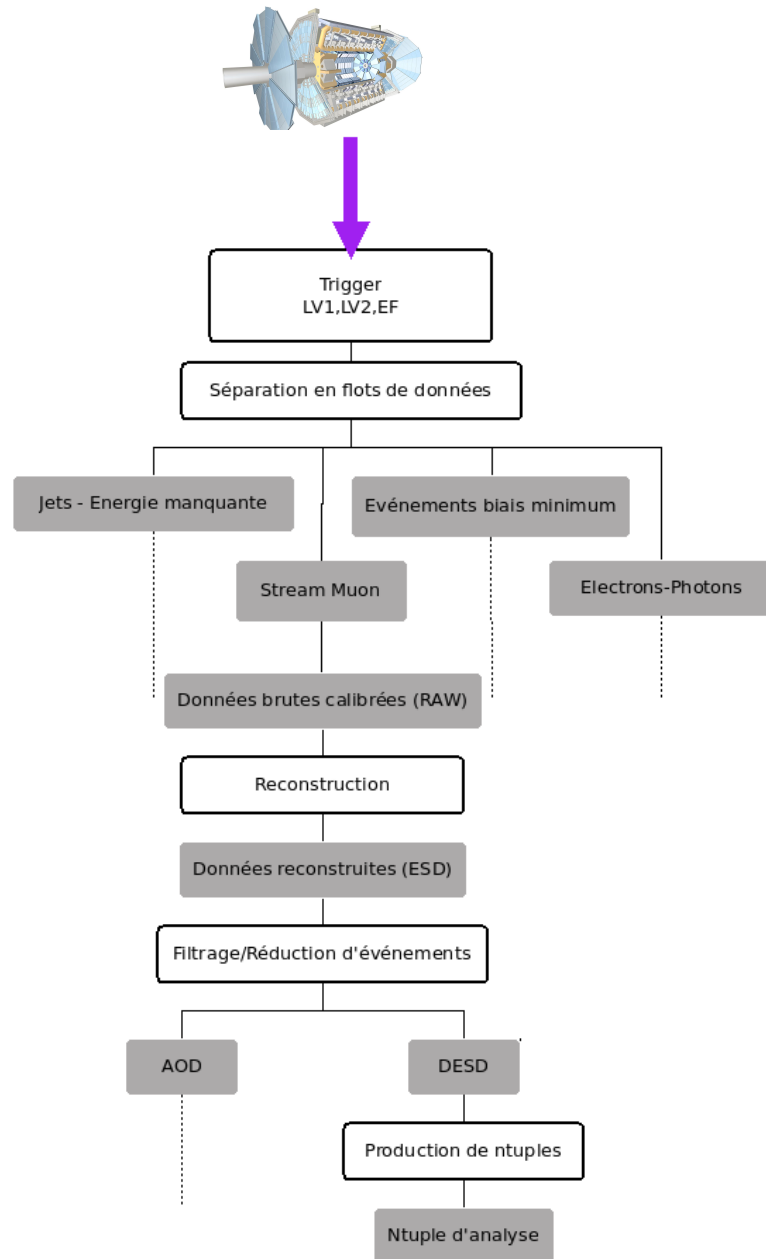
➤ Alignement par traces droites sans champ magnétique (alignement absolu) :

- Référence initiale combinée ensuite avec optique
- Principe : ajustement de la position des chambres à partir des résidus des traces
- Permet d'aligner également :
 - Chambres non équipées de lignes optiques
 - tonneau par rapport aux bouchons
 - le spectromètre par rapport au détecteur interne





Circuit du flot de données



- Processus de transformation depuis les données brutes issues du détecteur jusqu'aux données formatées pour l'analyse
- La simulation Monte Carlo suit le même processus à partir de données brutes venant de la simulation de la réponse du détecteur
 - Utilisation d'un système de déclenchement (trigger) simulé
 - Calibration et alignement parfaits dans la simulation



Boson Z avec les premières données

➤ Objectif

- Etude de la résolution du spectromètre avec une résonance connue
- Désintégration du Z en deux muons

➤ Méthode

- Spectre de masse invariante reconstruite des deux muons
- Ajustement par convolution d'une Breit-Wigner (largeur intrinsèque) et d'une fonction de résolution du détecteur (gaussienne)
- Largeur intrinsèque d'après le pdg
 $\Gamma \simeq 2.50 \text{ GeV}$

$$\sigma(M_{\text{inv}}) \propto \text{BW}(\Gamma) \otimes G(m, \sigma_{\text{res}})$$

- Résolution du détecteur donnée par σ_{res}

➤ Données utilisées

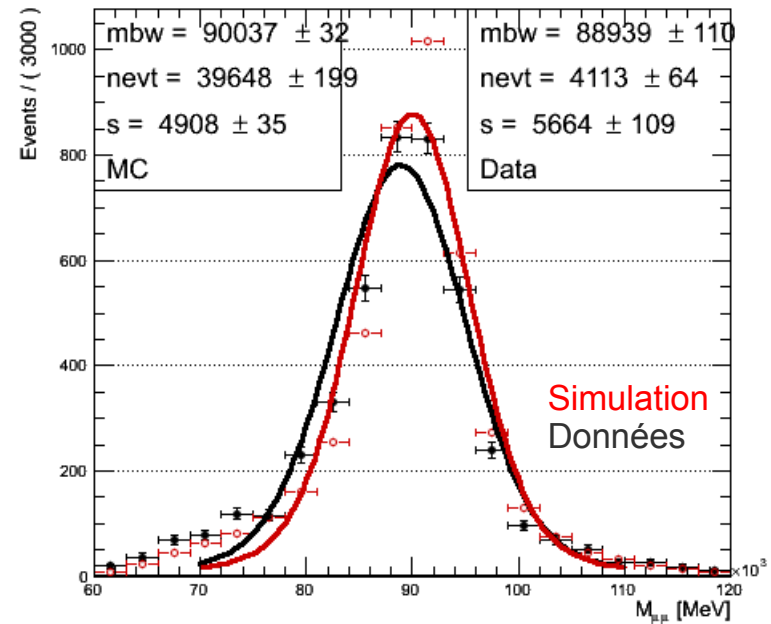
- Luminosité intégrée de l'échantillon de données : **11.05 /pb**
- Comparaison avec simulation Monte Carlo : ~100000 événements
- Résumé de la sélection des événements :
 - Événements de collisions
- Résumé de la sélection des traces :
 - Muons combinés avec trace détecteur interne
 - Exactement deux muons isolés (pas d'activité hadronique à proximité)
 - $P_T > 15 \text{ GeV}$
 - Charges opposées
 - $70 \text{ GeV} < M_{\text{inv}} < 110 \text{ GeV}$

$$M_{\text{inv}} = \sqrt{(E_1 + E_2)^2 - (\vec{p}_1 + \vec{p}_2)^2}$$



Résolution du spectromètre à partir du Z

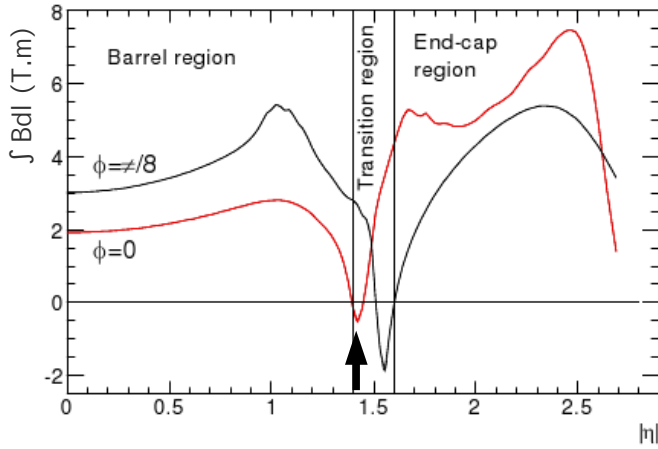
- Comparaison entre données et simulation de la résolution du Z : résolution moins bonne dans les données
- On sépare tonneau et bouchons
- On isole les régions qui peuvent causer une baisse de résolution (définies à la diapositive suivante) :
 - Région M : région avec dégradation de résolution attendue
 - Région B : région avec bonne résolution attendue



Z resolution (GeV)	
Données	5.66 ± 0.1
Simulation	4.91 ± 0.04



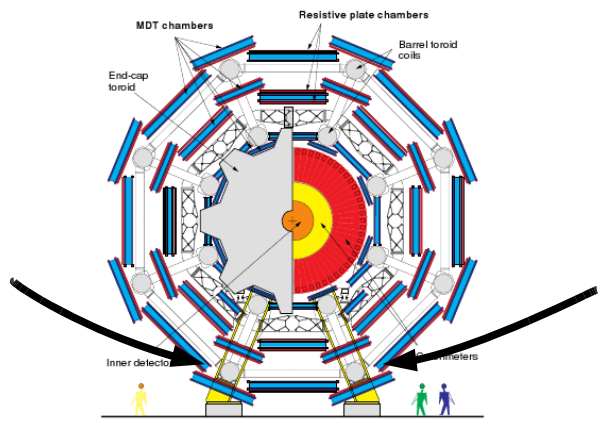
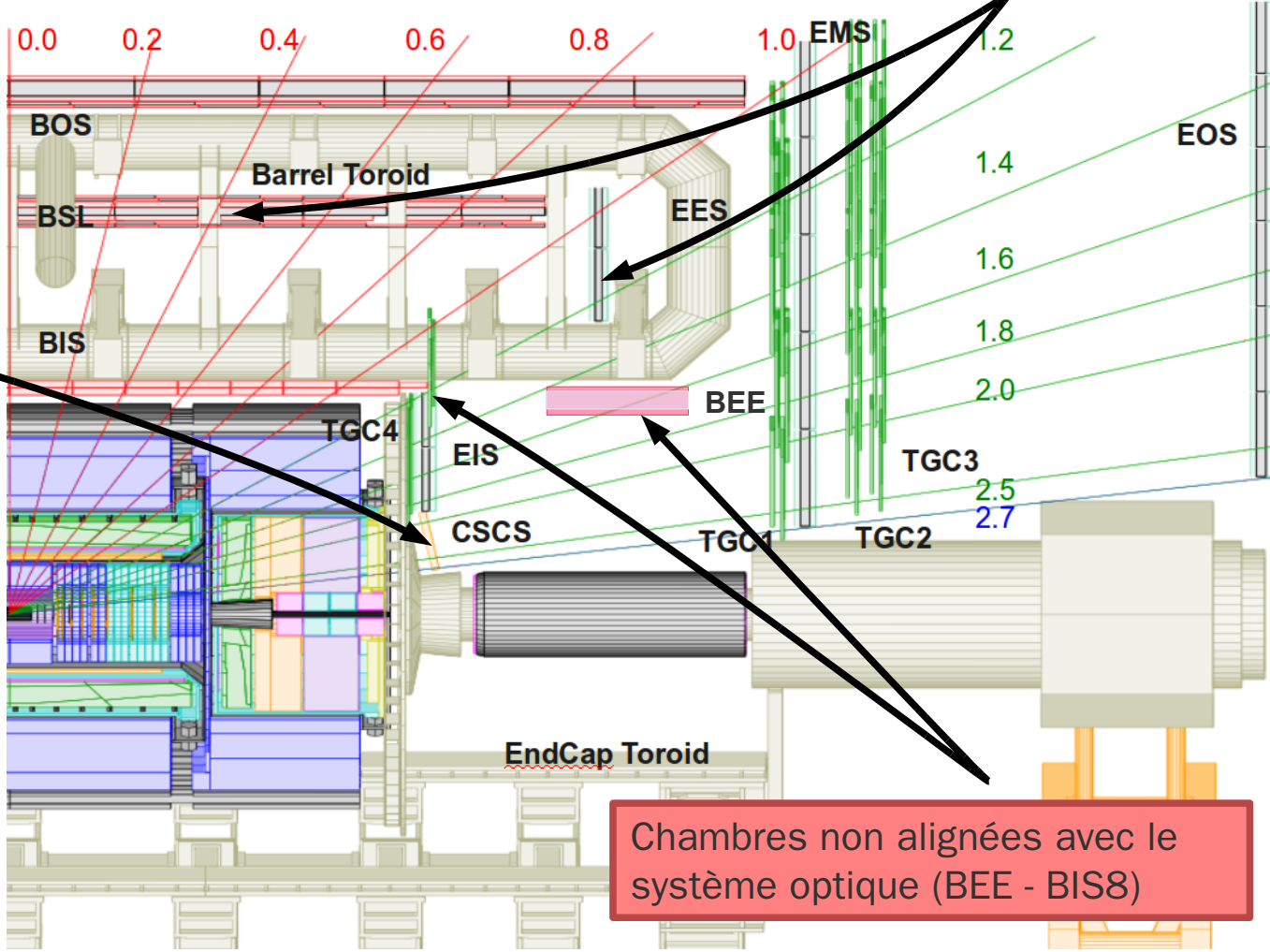
Régions de résolution dégradée (M)



← Transition entre barrel et end cap (champ magnétique quasi-nul : faible pouvoir de courbure)

Régions à deux stations (tiges toroïde) – chambres EE non installées

CSC (actuellement alignement moins précis)



Pieds du détecteur (plus de diffusion multiple)

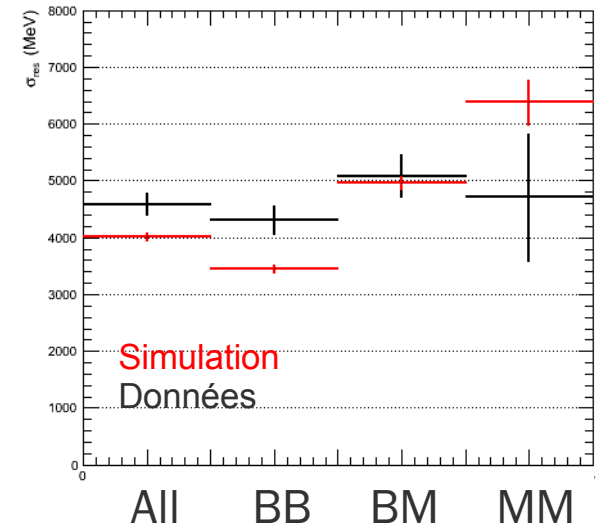
Chambres non alignées avec le système optique (BEE - BIS8)



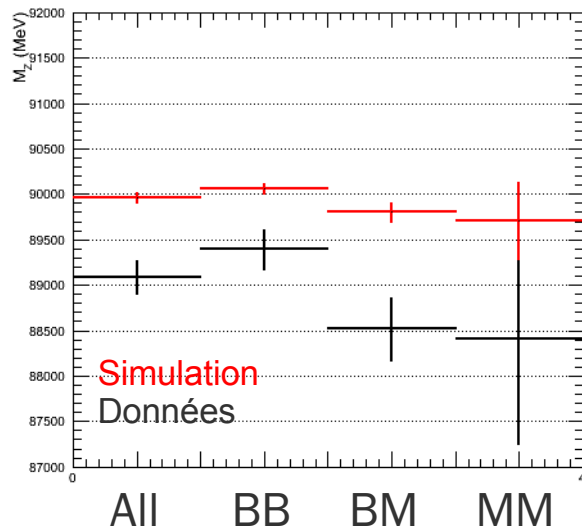
Résolution du spectromètre à partir du Z

- Séparation en régions :
 - Régions avec bonne résolution attendue (B)
 - Régions avec moins bonne résolution attendue (M)
- Masse invariante pour les traces spectromètre :
 - 2 muons dans région B (BB)
 - 1 muon dans chaque (BM)
 - 2 muons dans région M (MM)
- Résolution = écart type de la gaussienne

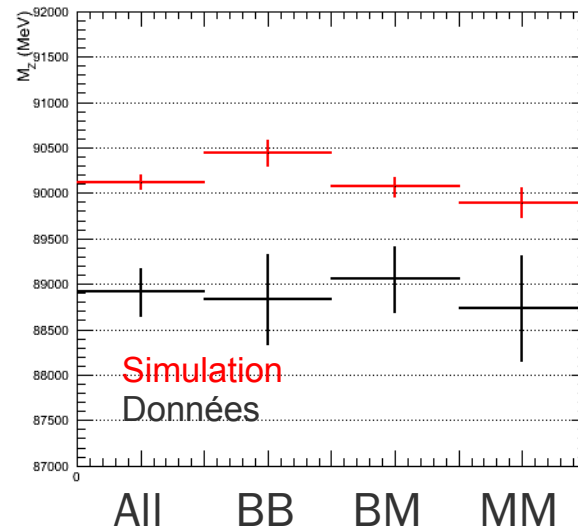
Résolution tonneau



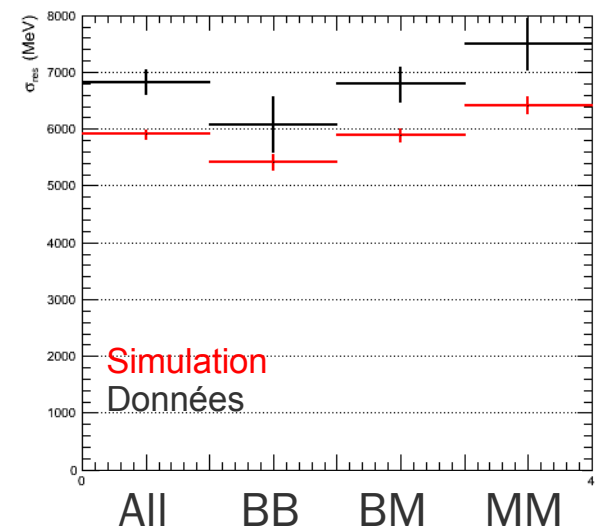
Masse du Z tonneau



Masse du Z bouchons



Résolution bouchons



Conclusions sur la résolution



- En séparant les régions, la résolution dans les données reste supérieure à la résolution de la simulation → diffusion multiple du muon dans la matière du spectromètre (matière manquante dans le Monte Carlo)
- On isole la contribution à la résolution du Z dans les données qui n'est pas dans le Monte Carlo

$$\sigma^2(m_Z)_{\text{données}} = \sigma^2(m_Z)_{\text{simu}} + \sigma^2(m_Z)_{\text{diff.mult. hors simu}}$$

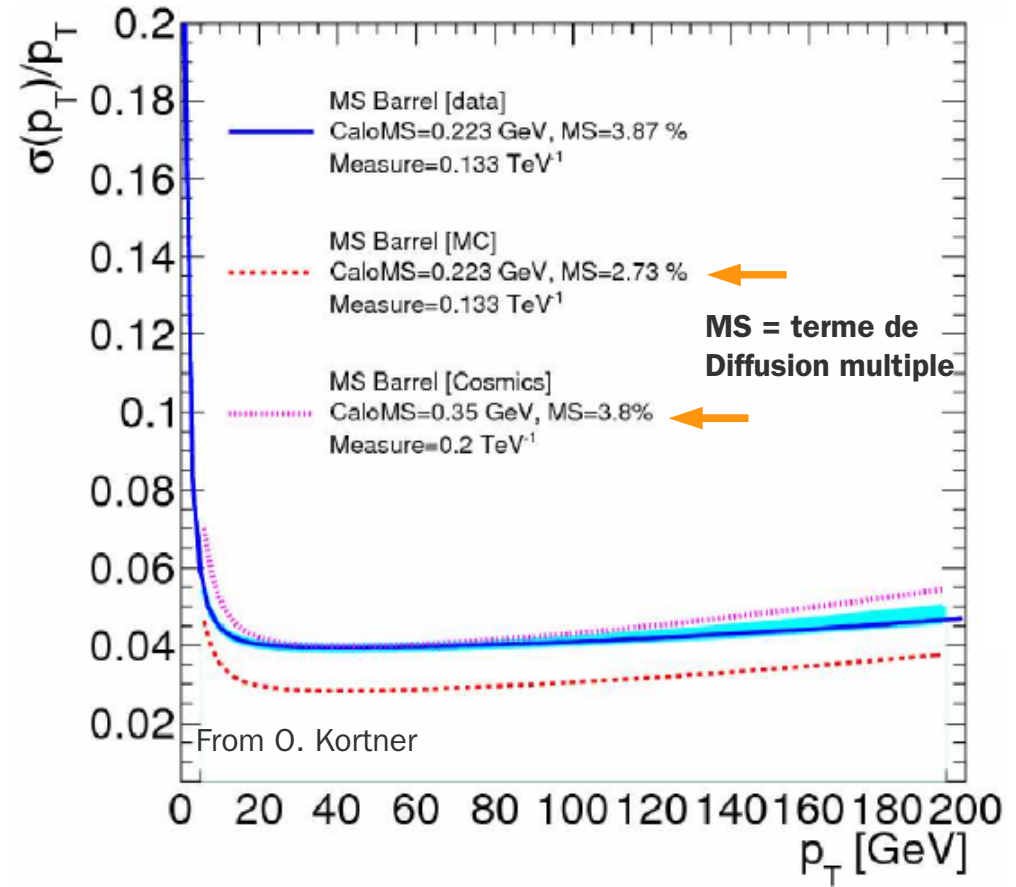
$$\frac{\sigma^2(m_Z)_{\text{diff.mult. hors simu}}}{m_Z^2} = \frac{\sigma^2(m_Z)_{\text{données}} - \sigma^2(m_Z)_{\text{simu}}}{m_Z^2} = 6.5 \cdot 10^{-4}$$

- Si on suppose qu'elle est due à de la diffusion multiple, elle représente un terme constant K_0 dans la résolution relative en impulsion

$$m_Z^2 = 2 p_1 p_2 (1 - \cos \theta) \Rightarrow \frac{\sigma^2(m_Z)}{m_Z^2} = \frac{\sigma^2(p)}{p^2} \sim K_0^2$$

- On évalue ce terme avec la résolution en impulsion avec données cosmiques dans lesquelles on a remarqué une différence analogue entre données et simulation

$$K_0^2(\text{cosmiques}) - K_0^2(\text{simu}) = (.038)^2 - (.0273)^2 = 6.9 \cdot 10^{-4}$$



La différence entre données et simulation est en accord avec celle remarquée dans l'analyse cosmique et imputée à la présence de matière supplémentaire non décrite dans le Monte Carlo

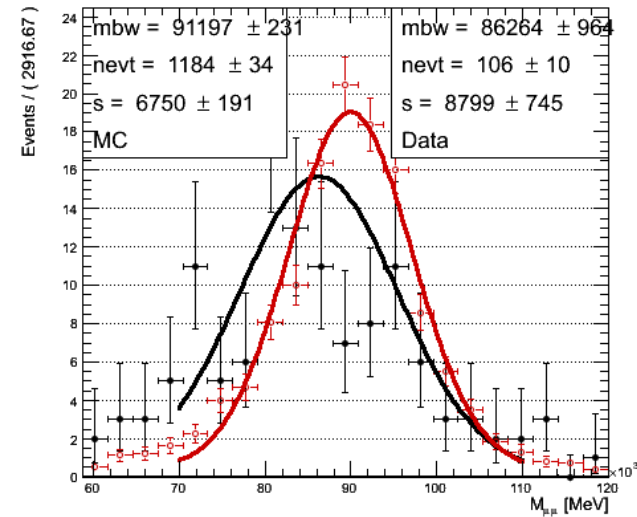


Résolution dans régions spécifiques

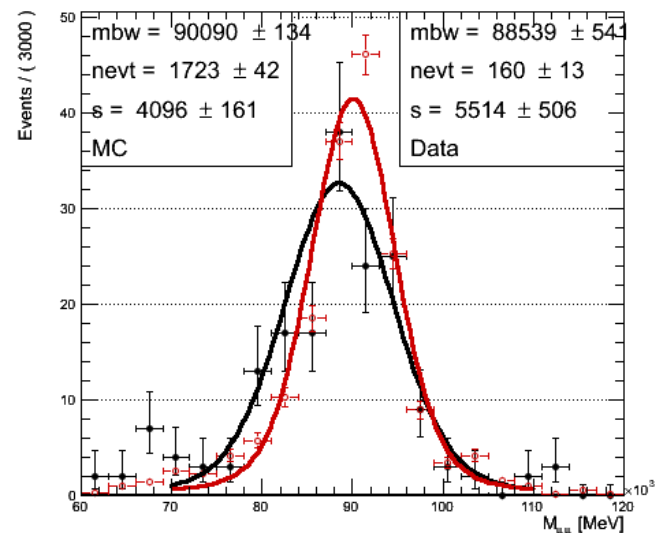
➤ Pour certaines régions, la dégradation de la résolution peut être expliquée par l'alignement des chambres

- Chambres BEE (alignées au mm)
- Transition Tonneau – Bouchons

Chambres BEE



Transition tonneau - bouchons

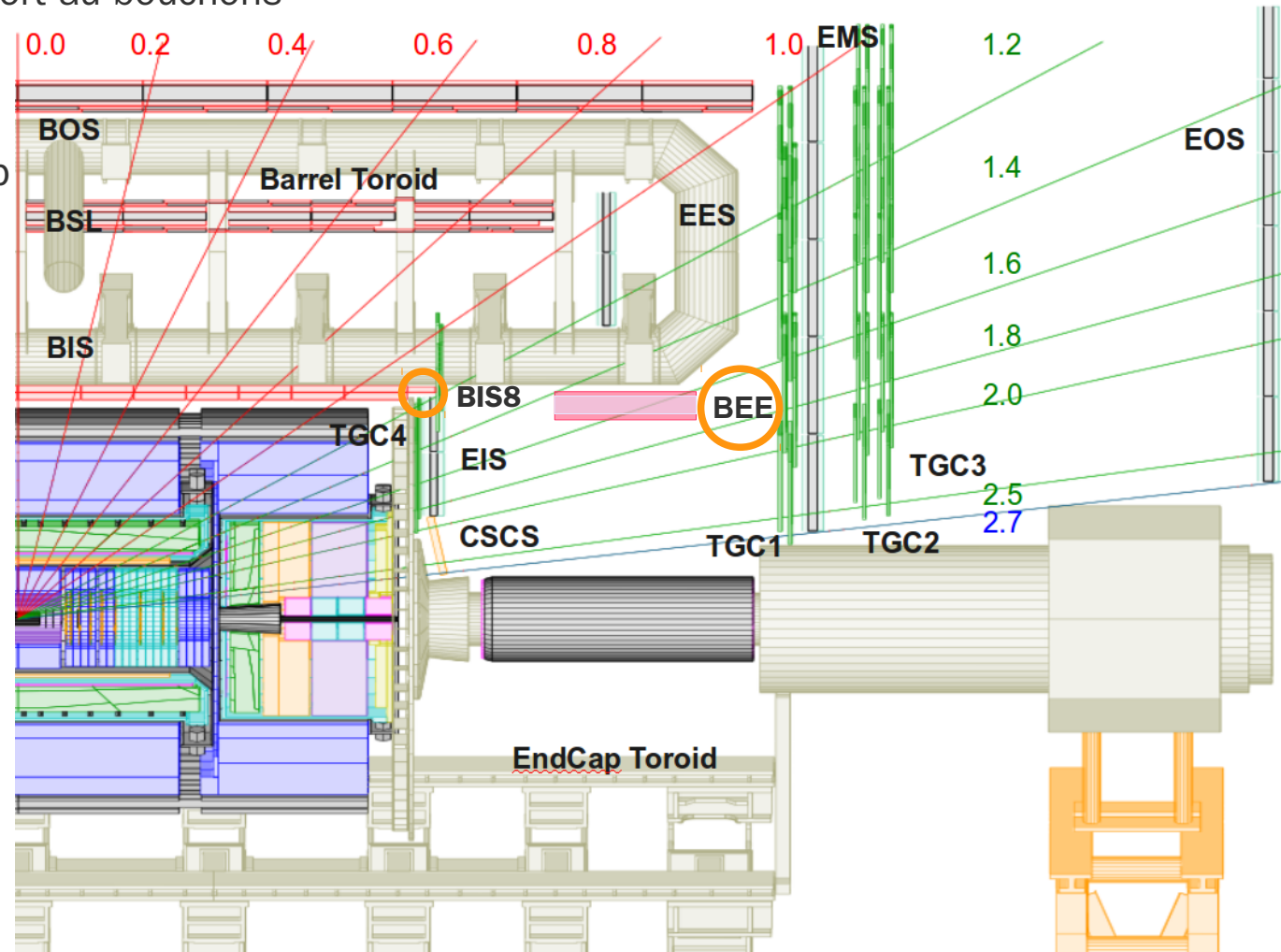


Un muon dans region B, l'autre dans... (GeV)		
	BEE	Tonneau-Bouchon
Données	8.80 ± 0.8	5.51 ± 0.5
Monte Carlo	6.75 ± 0.2	4.10 ± 0.2



Vers l'alignement

- Alignement des chambres BEE - BIS8 avec des traces passant par des chambres des bouchons alignées (EIS – EMS)
- Alignement du tonneau par rapport au bouchons avec des traces dans le recouvrement
- Utilisation de traces avec champ car absence de lignes optiques pour le suivi dans le temps





Conclusions

- L'alignement est une contribution importante à la résolution du spectromètre à muon à grande impulsion
- La résonance du Z peut servir à sonder le détecteur pour identifier des régions de résolution dégradée (chambres non alignées ou autre)
- Suffisamment de données pour commencer l'alignement avec traces en présence du champ magnétique pour les régions sans lignes optiques



BackUp : ouverture vers l'analyse : le Z'

- Recherche de résonances de haute masse en dimuons
- Secteur en impulsion où l'alignement du spectromètre a une grande contribution à la résolution en impulsion

