

PRÉSENTATION GARANTIE
SANS PRUNEAUX

Mise en œuvre du système calorimétrique d'ATLAS et première étude *in situ* de l'énergie transverse manquante (E_T^{miss}).

Elisabeth Petit (CPPM-IN2P3)

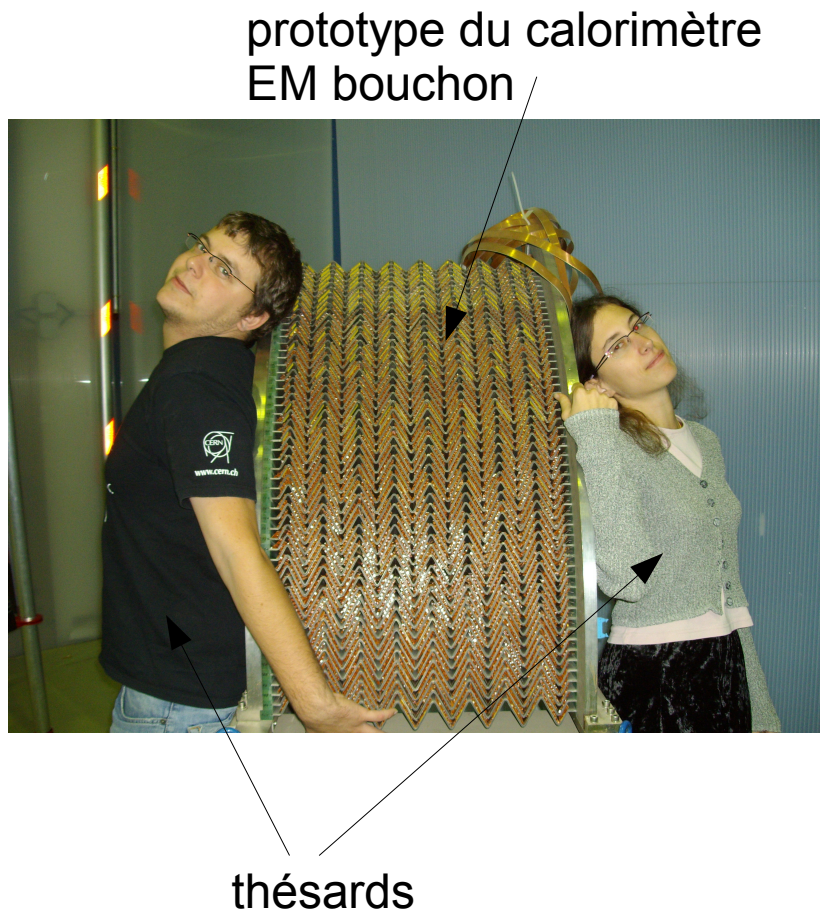
Journées de Rencontre Jeunes Chercheurs

03 décembre 2009



Prélude

- ◆ Dans une présentation d'instrumentation, il paraît qu'on présente toujours des photos



Introduction, importance de E_T^{miss}

◆ Au LHC :

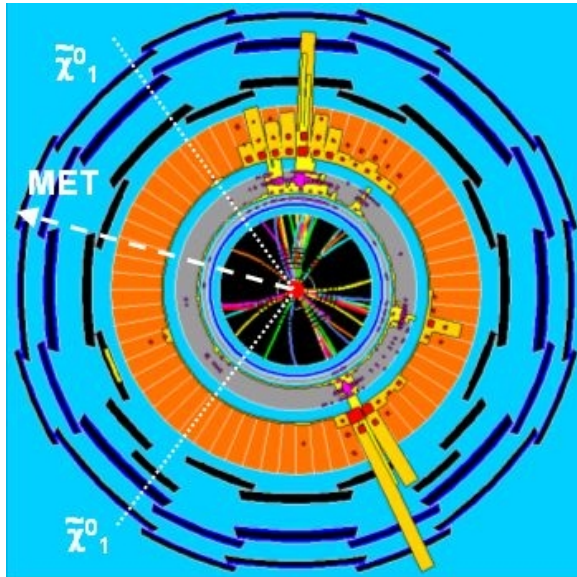
- en 2008 : $\sqrt{s} = 0 \text{ TeV} \Rightarrow$ commissioning
- dès 2010 : $\sqrt{s} = 7\text{-}10 \text{ TeV}$, $\mathcal{L} \sim 200 \text{ pb}^{-1}$
- nominal : $\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$, $\mathcal{L} \sim 10\text{fb}^{-1}/\text{an}$

◆ Reconstruction de **particules "chandelles"** du modèle standard avec des neutrinos ($E_T^{\nu} = E_T^{\text{miss}}$):

- lepton τ ($\tau \rightarrow \text{jet} + \nu_{\tau}$, $\tau \rightarrow l + \nu_l + \nu_{\tau}$)
- bosons de jauge Z, W
- quark top

◆ Recherche de **nouvelle physique** avec des particules sans interaction avec la matière:

- SUSY (boson de Higgs ($H/A \rightarrow \tau\tau$), LSP)
- bosons de jauge lourds ($W' \rightarrow l\nu$) \rightarrow découverte reste possible en 2010
- dimensions supplémentaires (graviton)



Coupe transverse du détecteur ATLAS:
décroissance de particules
supersymétriques

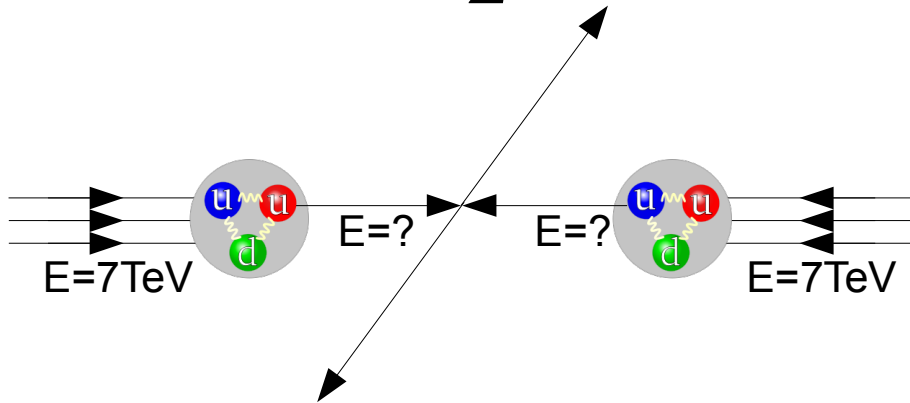
→ L'énergie manquante : une signature clef pour la recherche de nouvelle physique

Principe de E_T^{miss}

- ◆ But: connaître l'énergie des particules non détectables
- ◆ Collisionneur e^+e^- : énergie initiale parfaitement connue

- conservation de l'énergie

$$\Rightarrow \vec{E}^{\text{non-int}} = - \sum \vec{E}^{\text{int}}$$



- ◆ Collisionneur pp : énergie des partons inconnue, mais nulle dans le plan transverse

- conservation de l'énergie transverse

$$\Rightarrow \vec{E}_T^{\text{non-int}} = - \sum \vec{E}_T^{\text{int}}$$

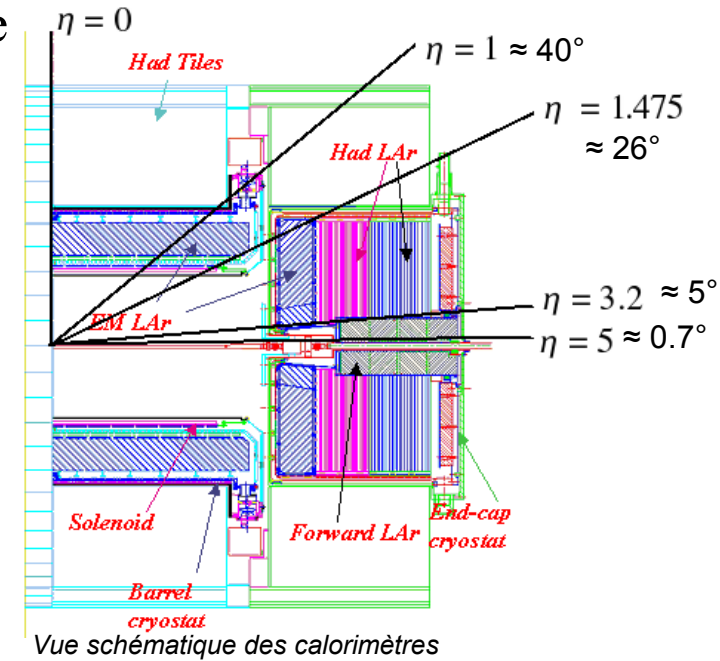
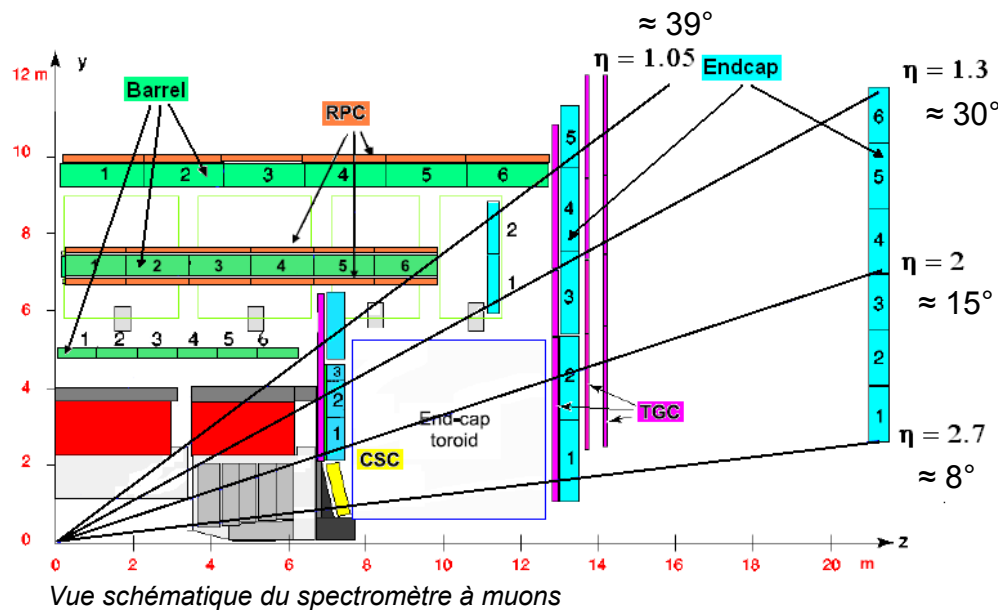
- ◆ Complexité de E_T^{miss}

- variable globale (tous les sous-détecteurs impliqués)
- jamais testée expérimentalement *in situ* avant 2008
- effort de validation avant/juste après le démarrage
 - vérifier que l'on a bien compris le signal et sa résolution
 - maîtriser les queues à haute énergie
 - maîtriser les problèmes expérimentaux

Mesure de E_T^{miss} dans ATLAS

◆ Requier un système calorimétrique **hermétique** avec une **grande couverture angulaire**.

- Jusqu'à $|\eta| = 5$ + géométrie en accordéon pour le calo EM
- Peu de zones mortes
- Qualité des détecteurs (peu de cellules mortes, bruit et piédestaux sous contrôle)
- Très bonne performance de tous les sous-détecteurs (tests faisceaux combinés, muons cosmiques)



◆ Requier un spectromètre à muons **très performant**

- Jusqu'à $|\eta| = 2.7$
- Très bonne efficacité de reconstruction

$$E_T^{\text{miss}} = E_T^{\text{miss,Calorimètre}} + E_T^{\text{miss,Cryostat}} + E_T^{\text{miss,Muon}}$$

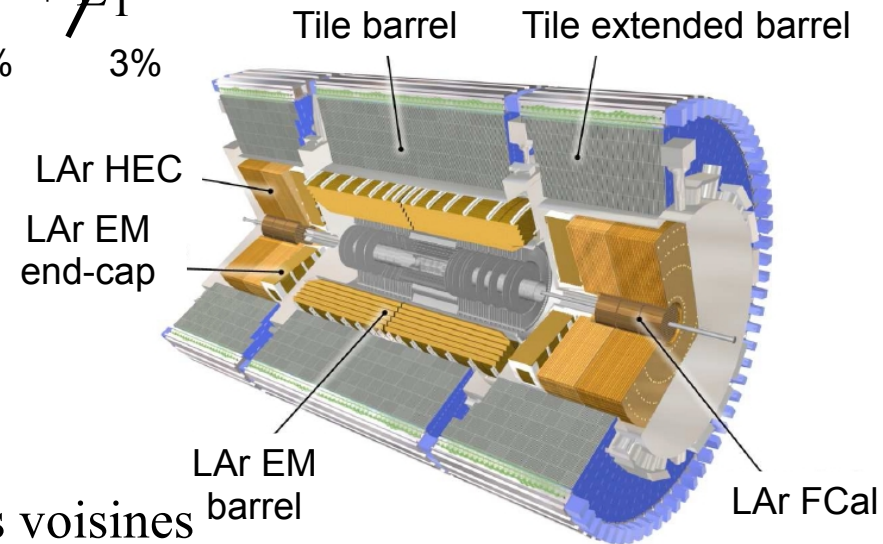
Le terme E_T^{miss} calorimétrique

◆ La mesure de $E_T^{\text{miss,Calo}}$ repose sur 187616 cellules (10 fois plus que DØ/CDF)

$$\frac{E_T^{\text{Calorimètre}}}{N_{\text{cellules}}} = \frac{E_T^{\text{EM,tonneau}}}{58\%} + \frac{E_T^{\text{EM,bouchon}}}{34\%} + \frac{E_T^{\text{HEC}}}{3\%} + \frac{E_T^{\text{FCal}}}{2\%} + \frac{E_T^{\text{Tuiles}}}{3\%}$$

Ncellules : 100%

92%



1) Identifier et traiter les cellules à problèmes

2) Supprimer le bruit

- Cellules telles que $|E| > 2 * \sigma_{\text{bruit}}$
- **TopoClusters** : graines $|E| > 4 * \sigma_{\text{bruit}}$, cellules voisines $|E| > 2 * \sigma_{\text{bruit}}$, cellules frontière $|E| > 0 * \sigma_{\text{bruit}}$

3) Non compensation des calorimètres \Rightarrow calibrer les cellules différemment pour les gerbes électromagnétiques et hadroniques

◆ Tous les sous-détecteurs d'ATLAS en place et dans l'acquisition depuis 2008

→ Les points 1 et 2 peuvent être étudiés avant les collisions

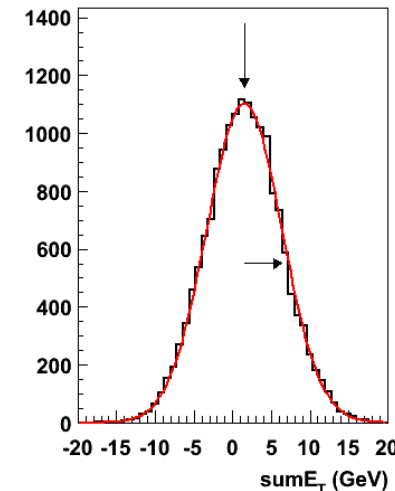
Vérification de E_T^{miss} avant le démarrage

- ◆ Données prises, avec des conditions stables, à l'automne 2008 et été 2009
- ◆ Utiliser le **déclenchement aléatoire** pour vérifier E_T^{miss}

– 2 millions d'événements étudiés

Pas d'énergie déposée \Rightarrow contribution du **bruit électronique** uniquement

- $E_X^{\text{miss}} = -\sum E \cdot \sin\theta \cdot \cos\varphi$
 - $E_Y^{\text{miss}} = -\sum E \cdot \sin\theta \cdot \sin\varphi$
 - $\sum E_T = \sum E \cdot \sin\theta$
 - $\varphi^{\text{miss}} = \text{atan}(E_Y^{\text{miss}}/E_X^{\text{miss}})$: devrait être **plat**
 - $E_T^{\text{miss}} = \sqrt{E_X^{\text{miss}2} + E_Y^{\text{miss}2}}$
- devraient être des distributions **gaussiennes centrées en 0**

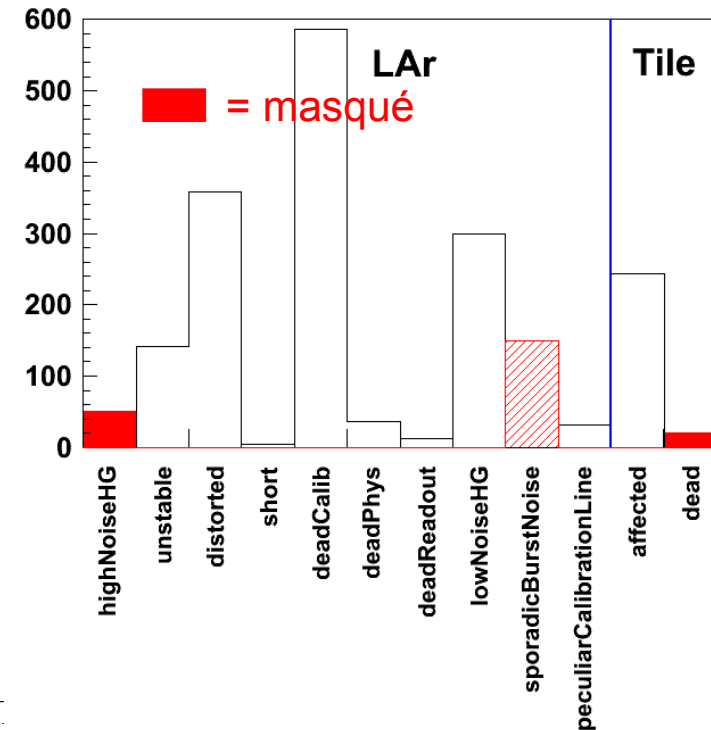


- ◆ Comparaison à un modèle Monte-Carlo qui suppose que le bruit est gaussien

\Rightarrow Détecter les **problèmes potentiels** du calorimètre (hardware, software)

Maîtrise du calorimètre au niveau des cellules (1)

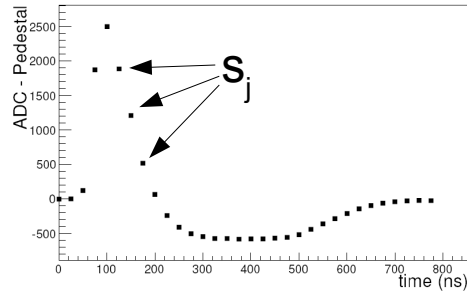
- ◆ 1.2% des cellules non connectées (électronique frontale)
 - sera corrigé pendant le shutdown
 - ◆ Cellules à problèmes :
 - mortes, très bruyantes, mal calibrées, ...
 - 0.43% des cellules
 - seulement 0.065% des cellules sont masquées
- ➔ 186000 cellules disponibles pour calculer E_r



➔ Bonne qualité du système calorimétrique

Maîtrise du calorimètre au niveau des cellules (2)

◆ Reconstruction de l'énergie :

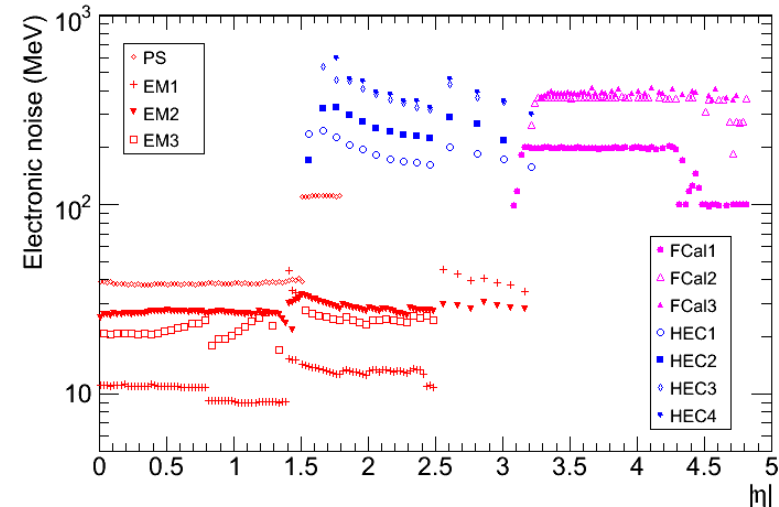
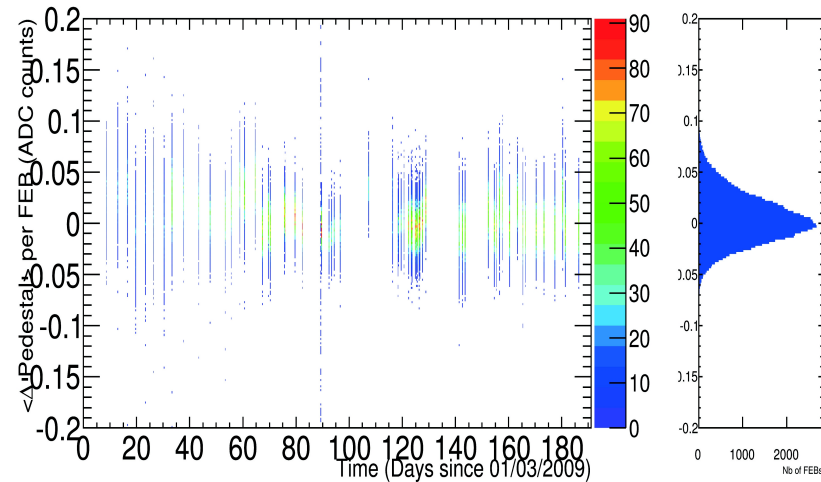


$$E_{\text{cell}} \propto \sum_{j=1}^{N_{\text{samples}}} a_j (s_j - p_j)$$

coefficient de filtrage optimal (OFC) → bruit

piédestaux

◆ Contrôler l'évolution des piédestaux : ◆ Coupure sur le bruit présume un bruit électronique gaussien et non-cohérent

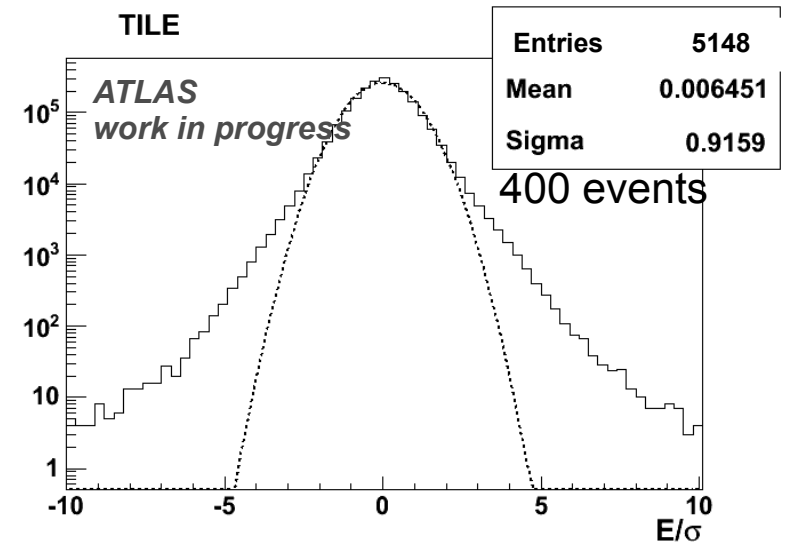
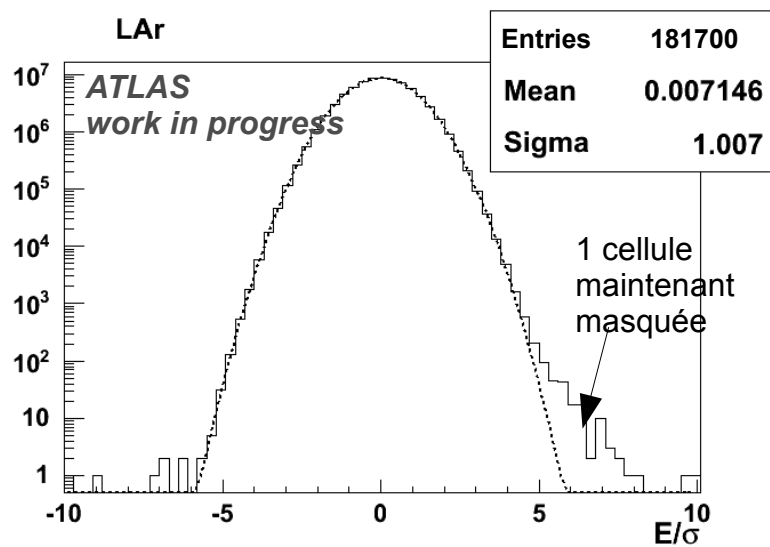


- ➔ Stable, mais $\neq 0$
(0.02 coup ADC \leftrightarrow 0.1 MeV)
- ➔ variation de 0.1 MeV /cellule
⇒ variation de 10 GeV de $\sum E_T$

EM : $\sigma_{\text{bruit}} \sim 20\text{MeV}$ FCal : $\sigma_{\text{bruit}} \sim 200\text{MeV}$
HEC : $\sigma_{\text{bruit}} \sim 200\text{MeV}$ Tile : $\sigma_{\text{bruit}} \sim 30\text{MeV}$

Maîtrise du calorimètre au niveau des cellules (3)

◆ Vérification : distribution énergie/ σ_{bruit} pour toutes les cellules du calorimètre :



→ Distribution gaussienne :

- centrée en 0 \Rightarrow piédestaux ✓
- de largeur = 1 \Rightarrow bruit ✓

→ Vrai pour les 181700 cellules du LAr !

→ Distribution gaussienne :

- centrée en 0 \Rightarrow piédestaux ✓
- de largeur \neq 1 + queues \Rightarrow bruit ✗

→ Non réparable, mais nouvelle description du bruit

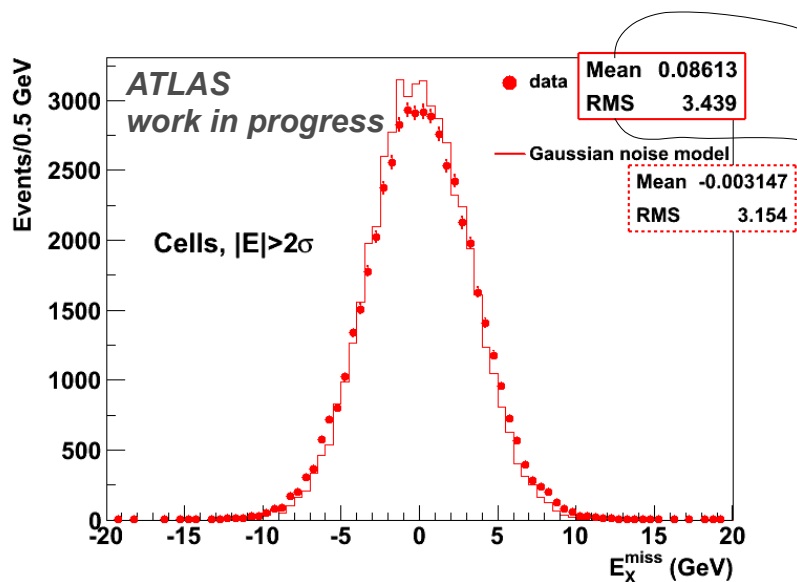
→ Le calorimètre d'ATLAS fonctionne très bien, grâce à 20 années d'efforts constants

$$E_T^{\text{miss}} \text{ avec } |E_{\text{cell}}| > 2^* \sigma_{\text{bruit}}$$

● données
— modèle

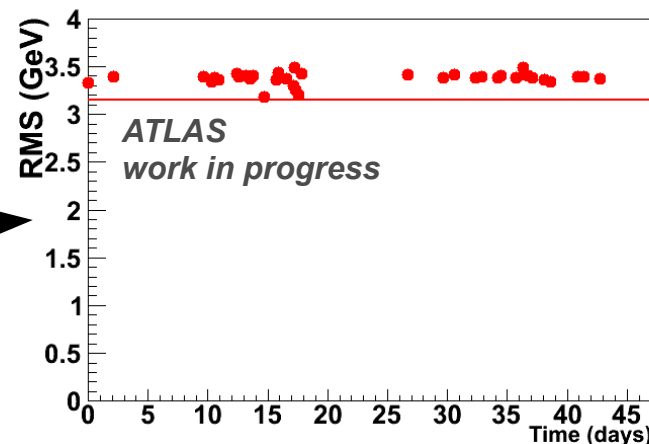
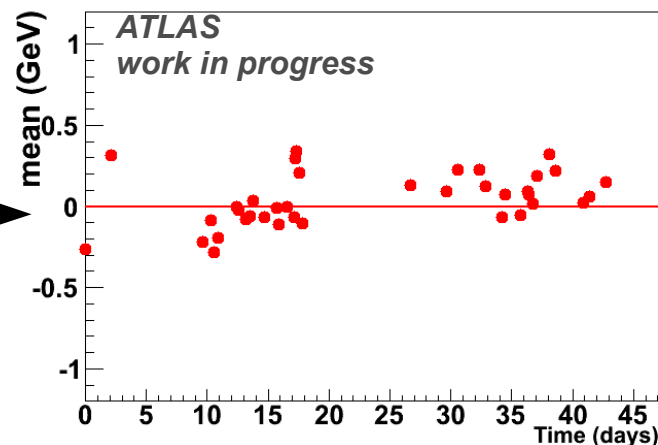
◆ Exemple de E_X^{miss}

➔ On sélectionne 8500 cellules /événement



➔ Distribution gaussienne centrée en 0, en accord avec le modèle de bruit gaussien

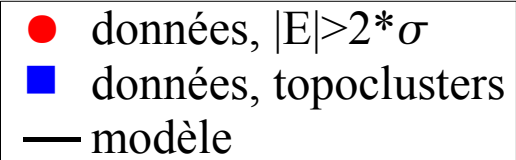
◆ Evolution en fonction du temps :



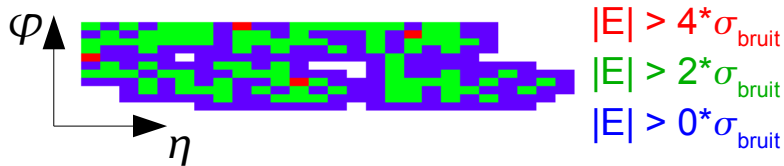
➔ Stabilité des résultats sur un mois et demi de prises de données

➔ Variable sous contrôle pour tout le calorimètre

E_T^{miss} avec topoclusters

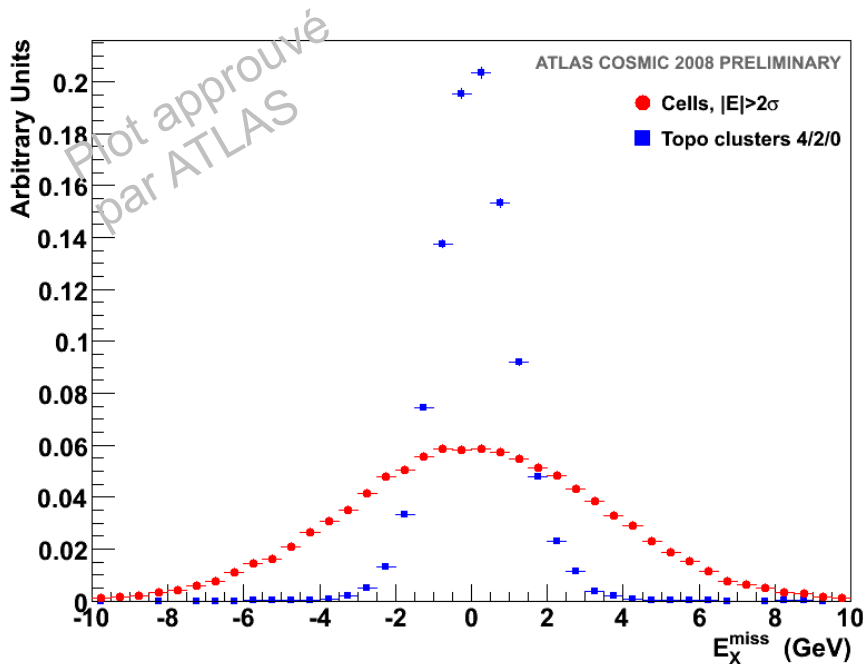


- ◆ But : réduire le bruit
 - utilisation des topoclusters

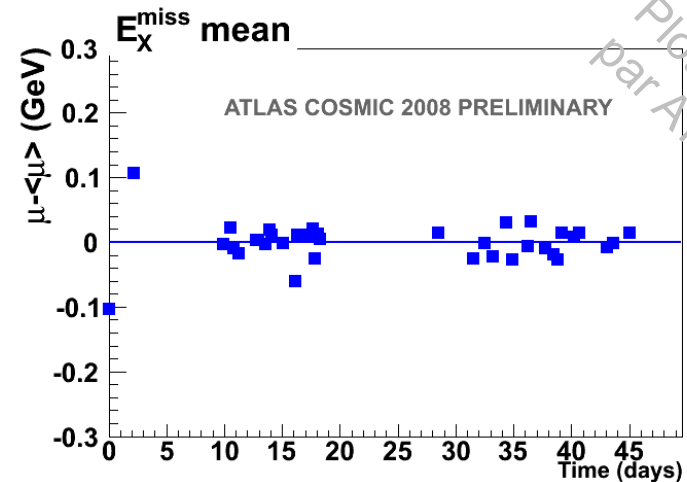


➔ On sélectionne 800 cellules /événement
⇒ amélioration de E_T^{miss}

- ◆ Exemple de E_X^{miss}



- ◆ Evolution en fonction du temps :



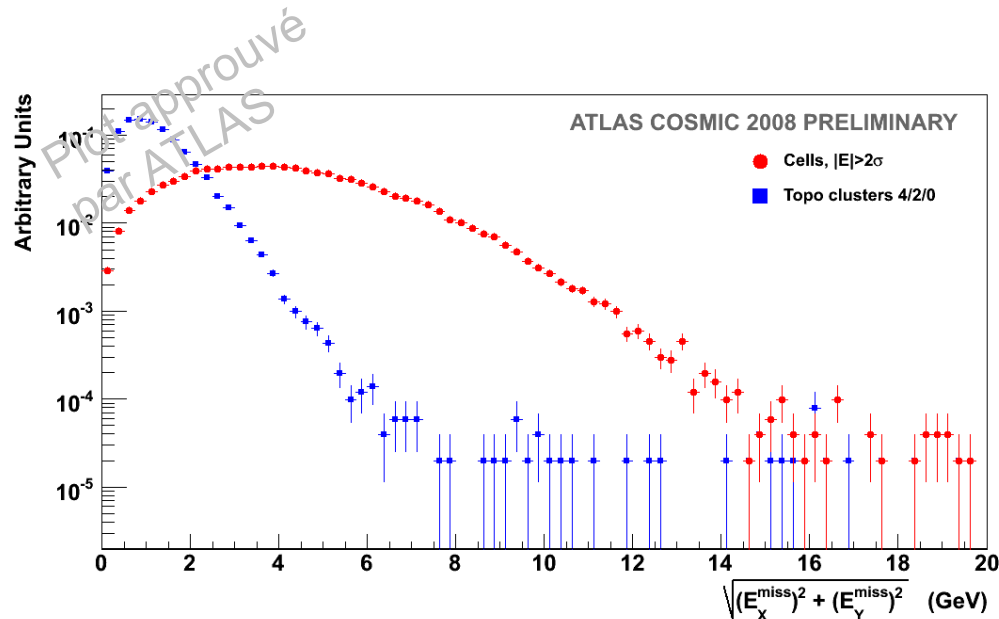
➔ Stabilité des résultats sur un mois et demi de prises de données

➔ Variable sous contrôle pour tout le calorimètre

Distribution de E_T^{miss}

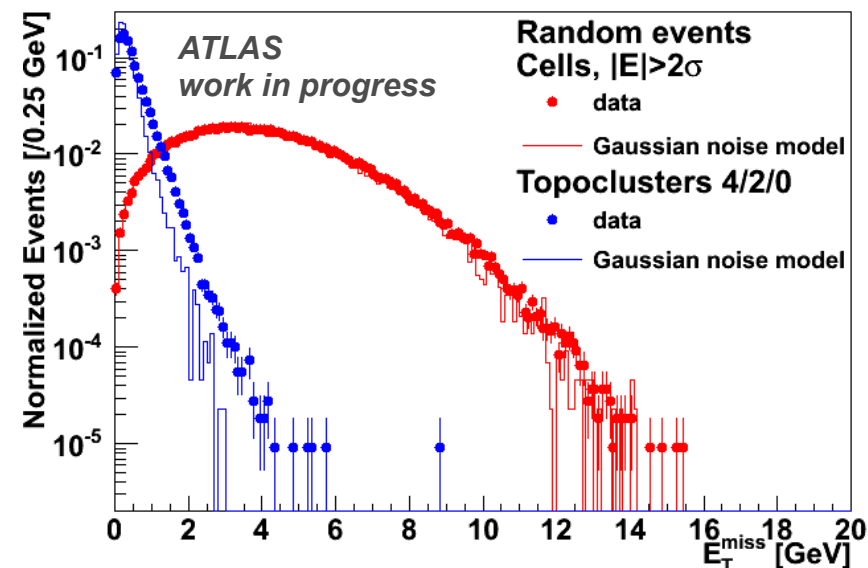
- données, $|E| > 2\sigma$
- données, topoclusters
- modèle

◆ Automne 2008 :



- ➔ En accord avec la prédiction pour méthode " $|E| > 2\sigma$ " uniquement
- ➔ Queues de distribution : bruit cohérent dans une zone spécifique du calorimètre (0.04% des événements), réparé pour 2009

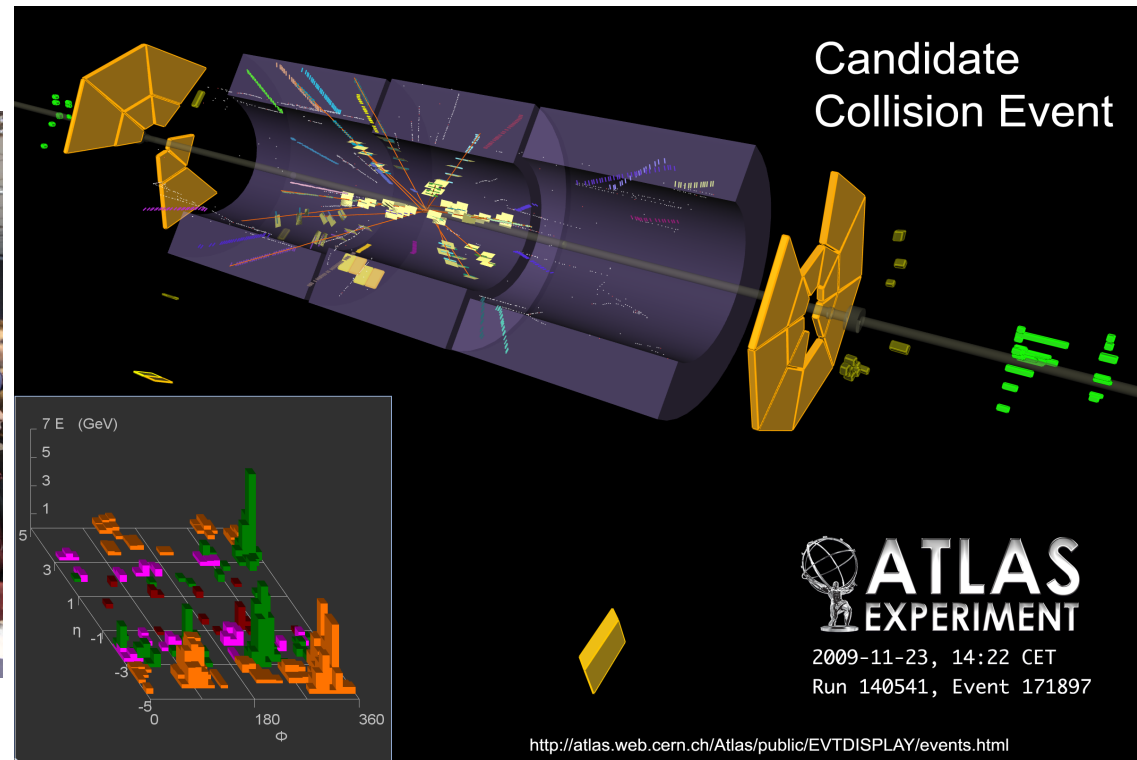
◆ Automne 2009 :



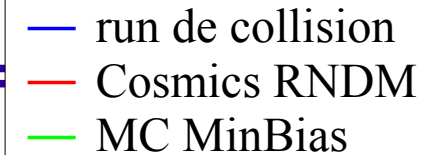
- ➔ Nouvelle description du bruit dans le Tile : en accord avec la prédiction pour les 2 méthodes
- ➔ Queues de distribution disparues

Du bruit gaussien aux premières collisions

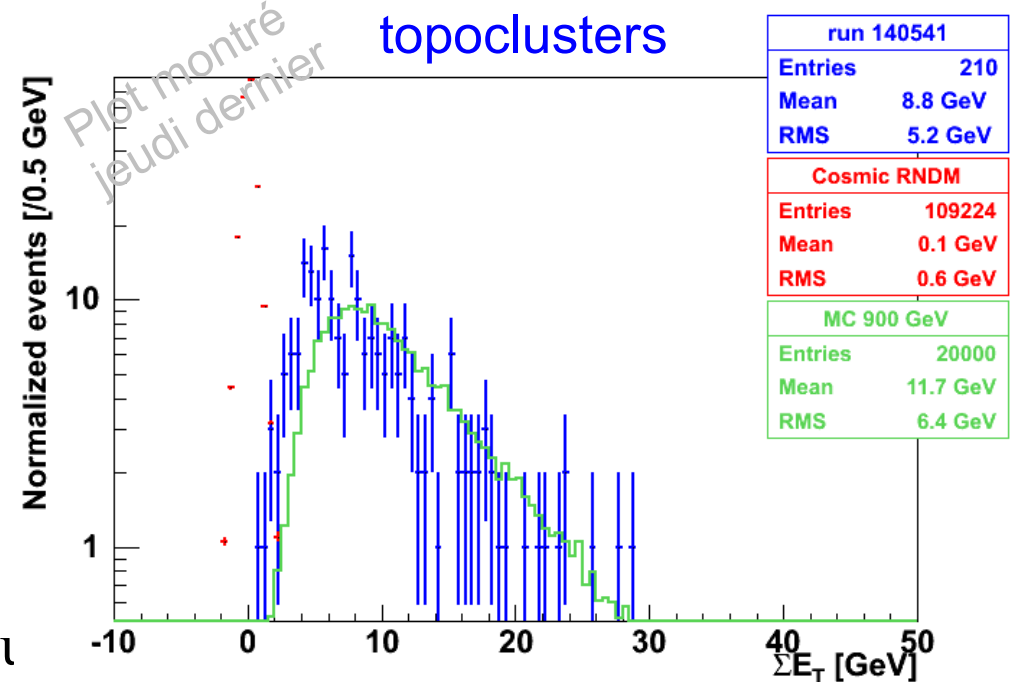
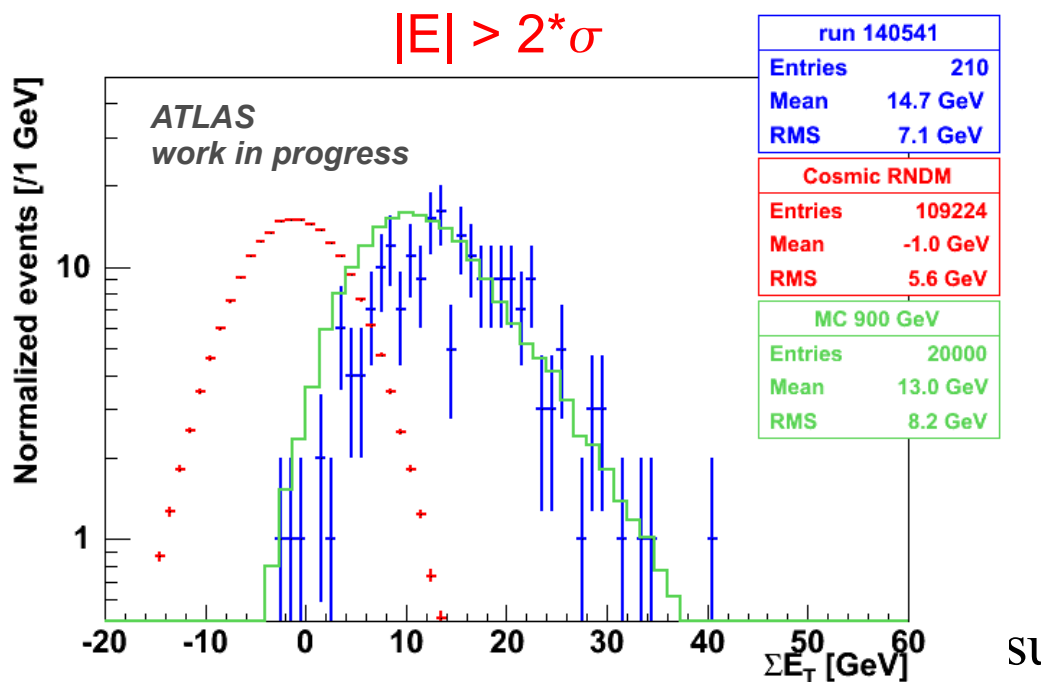
- ◆ Premières collisions à 900 GeV enregistrées par ATLAS il y a 10 jours



Premiers résultats (1)



- ◆ 210 candidats de collision
 - timing dans les end-caps A et C
- ◆ Energie totale transverse déposée dans le calorimètre :

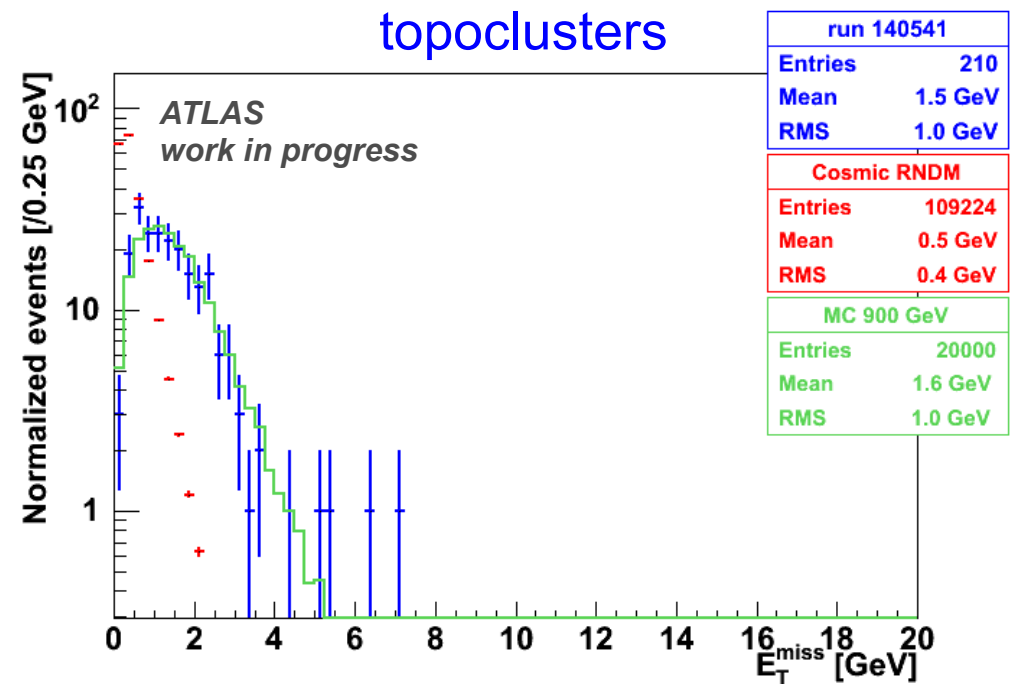
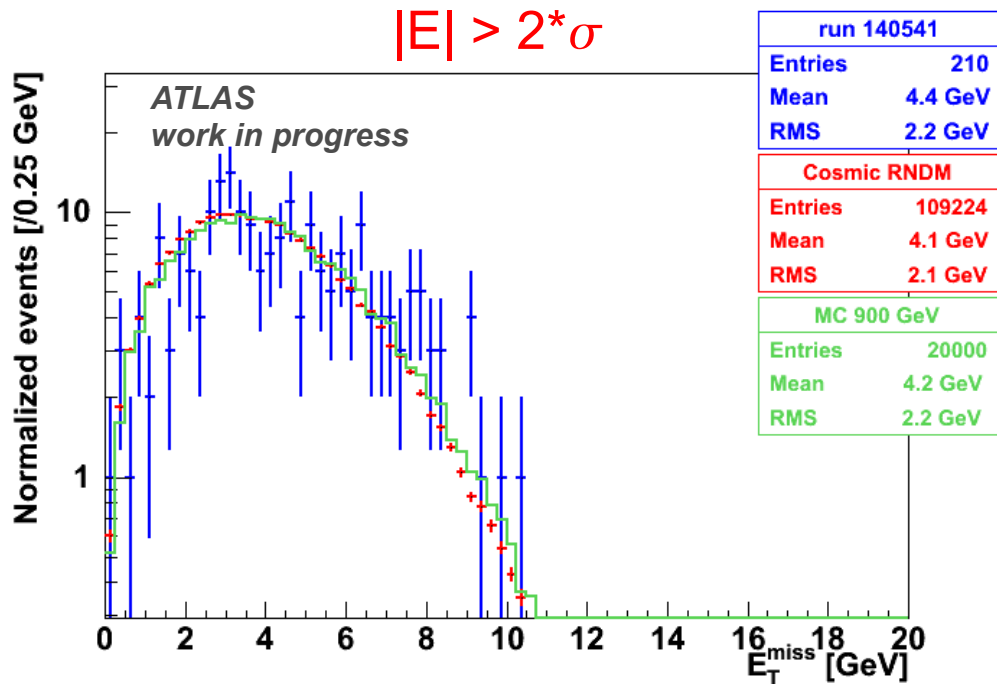


→ Bonne corrélation avec la simulation

Premiers résultats (2)

— run de collision
— Cosmics RNDM
— MC MinBias

◆ Distribution de E_T^{miss} :



➔ Bonne corrélation avec la simulation

➔ Séparable de la contribution du bruit pour la méthode avec topoclusters

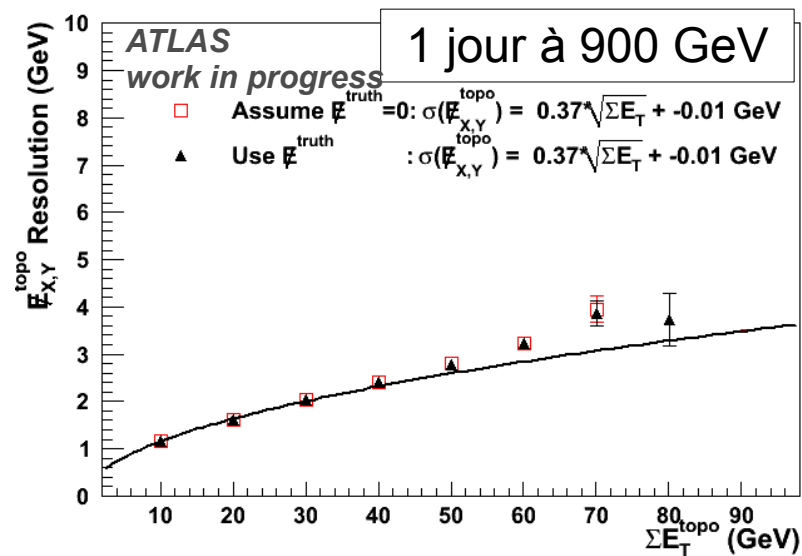
➔ "C'est [...] le début d'une ère fantastique de physique" (F. Gianotti)

Perpectives avec les données

2009

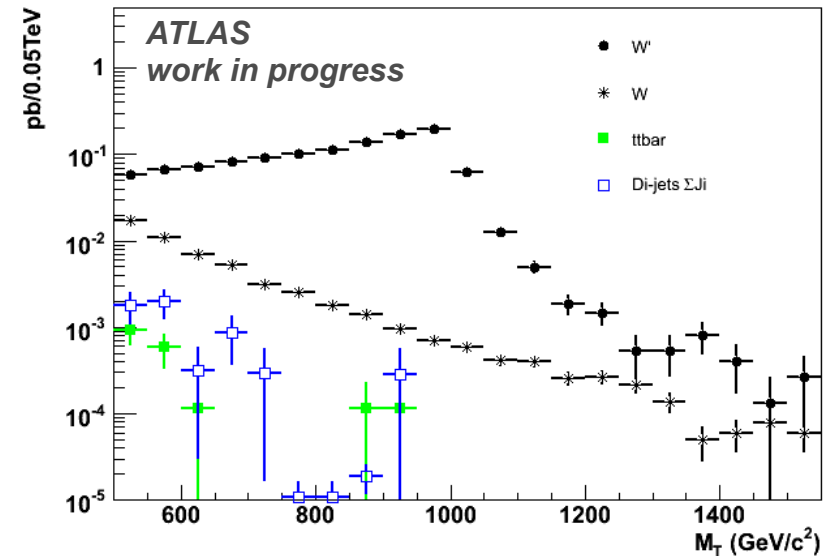
2010

- ◆ Vérifier les performances de E_T^{miss} avec les premières données de bias minimum à 900 GeV



→ Ordonnée à l'origine = valeur mesurée avec le bruit

- ◆ Recherche de nouvelle physique : boson de jauge lourd W'



→ 100 W' (1 TeV) attendus avec 7 TeV et 100 pb⁻¹

Conclusions

- ◆ Premier test de E_T^{miss} *in situ* avec 2 millions d'événements de déclenchement aléatoire
 - Très peu de cellules à problèmes (1%) et bruit sous contrôle
 - Comportement attendu, mise en évidence et correction des problèmes du détecteur (bruit cohérent, queues non gaussiennes)
 - ➔ Calorimètre (4 sous détecteurs, 187000 cellules) sous contrôle sur toute sa couverture angulaire.

- ◆ Données en 2009-2010
 - étalonnage du détecteur, performances de E_T^{miss}
 - découverte possible de nouvelles particules massives : W'

Back-up

Optimal filtering coefficients computation

$$f(t) = Ag(t - \tau) + n(t) \cong A\{g(t) - \tau g'(t)\} + n(t)$$

Choose coefficients for the expressions:

$$U = \sum_{k=1}^N a_k S_k \quad V = \sum_{k=1}^N b_k S_k$$

such to minimize σ_U and σ_V with the constraints:

$$\langle U \rangle = A \Rightarrow \sum_{k=1}^N a_k g_k = 1, \quad \sum_{k=1}^N a_k g'_k = 0$$

$$\langle V \rangle = A\tau \Rightarrow \sum_{k=1}^N b_k g_k = 0, \quad \sum_{k=1}^N b_k g'_k = -1$$

$$S_k = A(g_k - \tau g'_k) + n_k$$

$$\langle n_k \rangle = 0$$

$$\langle n_i n_j \rangle = R_{ij}$$

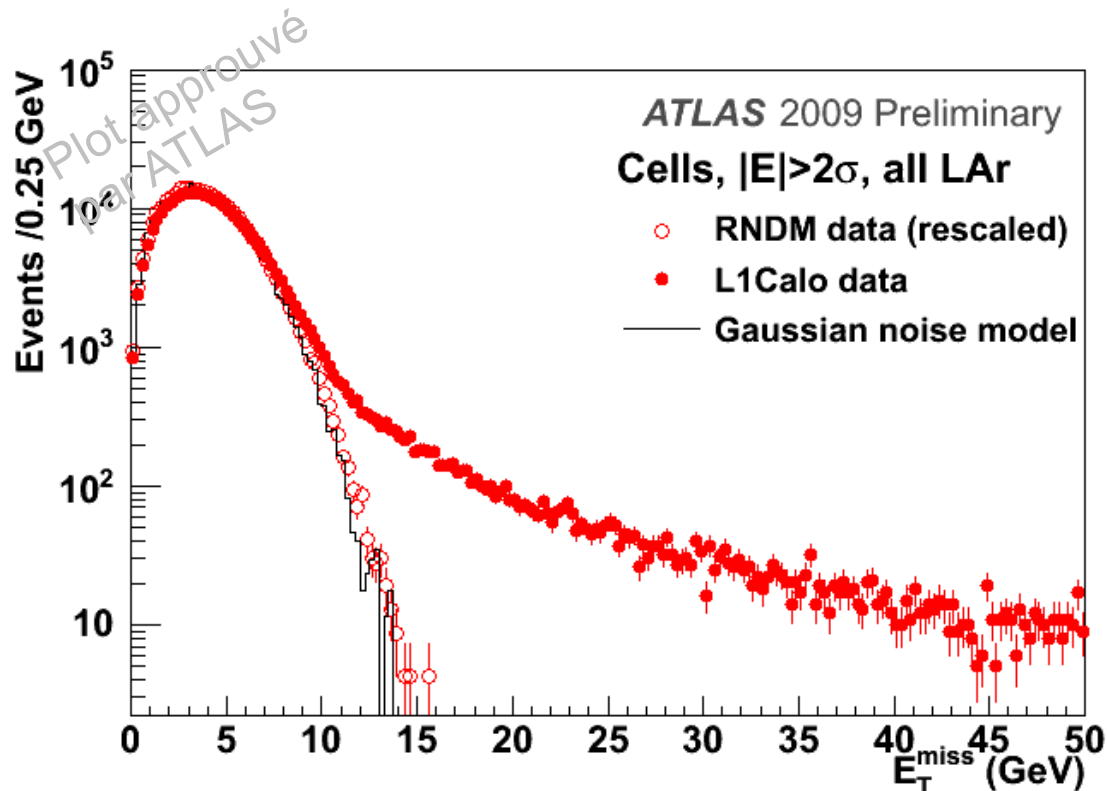
noise
autocorrelation
function

$$\sigma_U^2 = \text{Var}[U] = \sum_{ij} a_i a_j R_{ij}$$

$$\sigma_V^2 = \text{Var}[V] = \sum_{ij} b_i b_j R_{ij}$$

E_T^{miss} avec les muons cosmiques

- ◆ Déclenchement basé sur l'énergie déposée dans le calorimètre
- ◆ E_T^{miss} pour les cellules du LAr:



- ◆ Energie déposée par muon cosmique rayonnant un photon de bremsstrahlung
 - souvent dans les tuiles (en haut) $\Rightarrow E_T^{\text{miss}}$ due au bruit
 - queues de distribution $\Rightarrow E_T^{\text{miss}}$ due aux muons

Le LHC a été redémarré il y a ~10 jours...

