

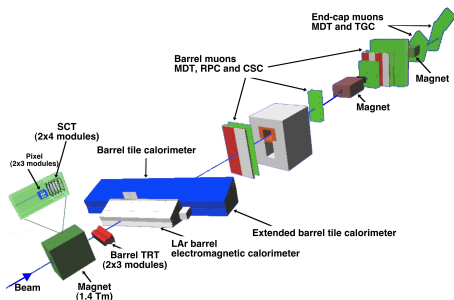
La performance du détecteur ATLAS avec le faisceau de test combiné

Vu Anh Tuan

DPNC, Université de Genève

21 mars 2008

Introduction

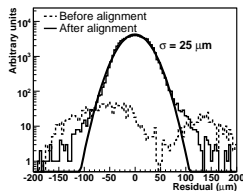
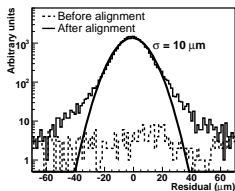


- Le faisceau de test combiné (CTB) d'ATLAS a eu lieu en 2004. Un secteur complet du barrel ATLAS a été mis dans un faisceau
 - Types de particules : électrons, pions, muons, protons et photons.
 - Energie du faisceau varie de 1 GeV à 350 GeV.
- Les buts du CTB :
 - Vérifier la performance du détecteur dans l'état (presque) final : électronique, TDAQ, software de reconstruction.
 - Valider la description du Monte Carlo.
 - Effectuer les études combinées dans un environnement très proche de celui d'ATLAS.

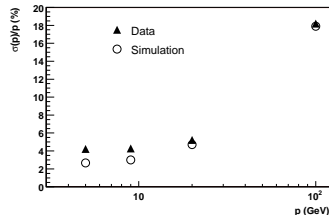
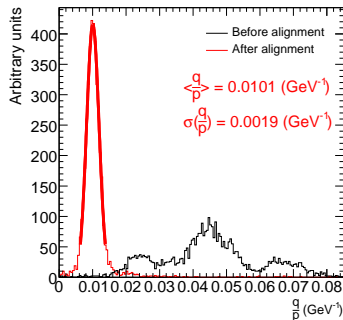
Plan général

- Quelques résultats des études CTB sont présentés ici. Ils couvrent à la fois la performance de chaque détecteur individuel et la performance combinée de plusieurs détecteurs.
- Détecteur interne :
 - L'alignement des modules Pixels et SCT
 - L'identification des électrons par le Transition Radiation Tracker (TRT)
- Calorimètre à argon liquide
 - Reconstruction de l'énergie des électrons
- Calorimètre à tuiles
 - Reconstruction de l'énergie des pions
- Etudes combinées
 - Conversions des photons dans le détecteur interne
 - Corrections de bremsstrahlung des électrons

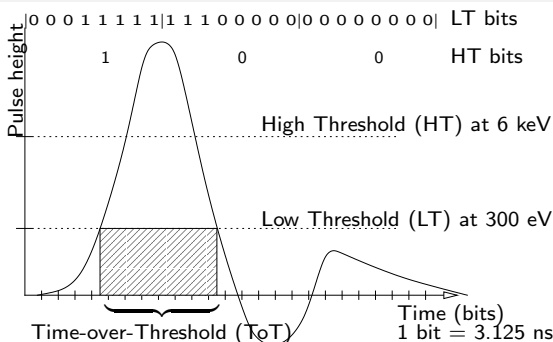
Alignement du détecteur interne



- La procédure d'alignement des détecteurs Pixels et SCT développée pour ATLAS a été appliquée sur les données du faisceau de test.
 - Pour un run 100 GeV, l'amélioration de la résolution non-biaisée des modules Pixels et SCT (et par conséquent celle de $1/pT$) est obtenue en déplaçant environ 100 – 200 μm certains de ces modules.
 - Le désalignement résiduel des modules est de l'ordre de 5 μm .
- Le TRT est partiellement aligné par rapport aux détecteurs Pixels et SCT seulement (pour les runs sans champ magnétique $B = 0$ et non pas pour les runs $B \neq 0$)

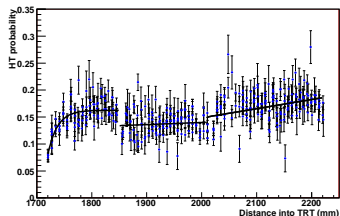


L'identification des électrons par le TRT : introduction

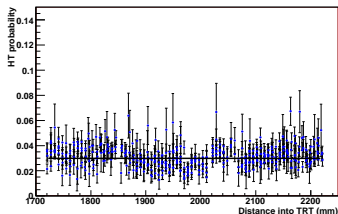


- La différence de masse entre électrons et pions influence leur réponse dans le Transition Radiation Tracker en deux quantités : rayonnement de transition (TR) et ionisation (dE/dx).
- Pour chaque paille TRT, la probabilité d'observer un rayonnement de transition dépend de :
 - l'énergie de la particule chargée (le facteur γ - boost de Lorentz)
 - la profondeur longitudinale de la paille considérée dans le TRT
 - l'angle relatif entre la particule incidente et la paille TRT (η de la trace). Cette dépendance est cependant négligeable pour CTB ($\eta \approx 0$)
- Chaque paille est capable de mesurer la durée du temps pendant laquelle le signal est au-delà du seuil (Time over Threshold - ToT). Ce temps diffère selon l'amplitude du signal, donc selon la particule chargée à basses énergies (≤ 10 GeV).

L'identification des électrons par le TRT : rayonnement de transition



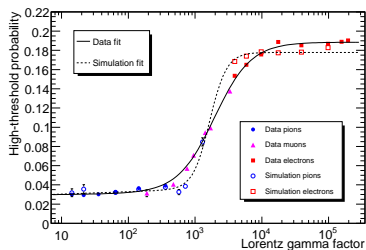
Prob. du TR des électrons



Prob. du TR des pions

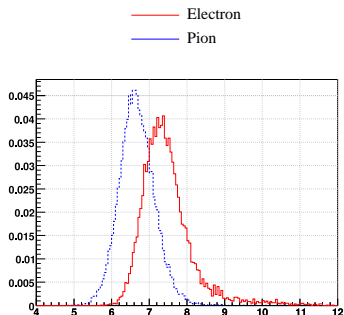
- En moyenne, un électron a une probabilité de 15% de signal de rayonnement de transition par paille lors de son passage dans le TRT contre 3% pour un pion.
- Les données réelles montrent :
 - une augmentation initiale de probabilité du TR en fonction de la profondeur dans le détecteur TRT
 - la perte de TR aux bords des modules
- Ces comportements sont bien reproduits par les données simulées.

L'identification des électrons par le TRT : rayonnement de transition

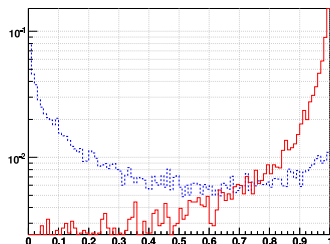


- Les données Monte Carlo ne reproduisent pas exactement la dépendance de la probabilité du TR en fonction du boost de Lorentz. Ceci est due à la difficulté de simuler correctement la réponse TR du matériau de radiateur dans le barrel (utilisé pour CTB). La simulation des end-caps devrait mieux correspondre aux données (radiateur plus régulier).

L'identification des électrons par le TRT : ToT



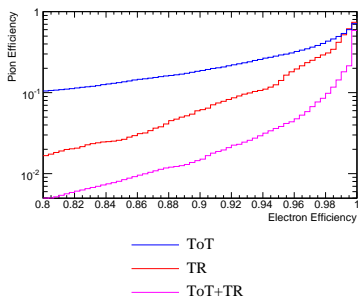
9 GeV $\sum ToT / \sum L$



9 GeV Prob. électrons et pions

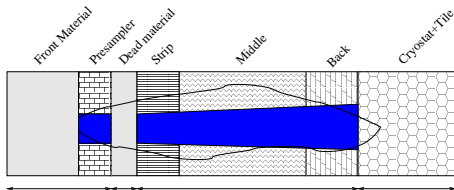
- Le temps ToT (Time over Threshold) dépend presque linéairement de la distance (L) parcourue par la trace dans chaque paille TRT.
- Comme les électrons sont plus ionisants que les pions, leur ToT est plus long. A 9 GeV, la différence est environ 20% pour chaque paille. La combinaison likelihood des ToT de toutes les pailles sur la trace permet de mieux discriminer les électrons contre les pions.
 - Pour réduire la corrélation entre ToT et TR, seules les pailles sans TR sont prises en compte dans le calcul likelihood ToT.

L'identification des électrons par le TRT : résultats



- Avec une efficacité de 90% de sélection des électrons, le taux de réjection des pions atteint :
 - en utilisant ToT seulement : 5
 - en utilisant TR seulement : 12
 - en combinant ToT et TR : 60

Calibration de l'énergie électromagnétique



- A partir des énergies visibles mesurées sur les samplings du presampler et de l'accordéon, l'énergie reconstruite de l'électron est donnée par

$$E_{electron} = a + bE_{PS}^{vis} + c\sqrt{E_{PS}^{vis}E_{strip}^{vis}} + \lambda(E_{strip}^{vis} + E_{middle}^{vis} + E_{back}^{vis}) + dE_{back}^{vis}$$

où :

- a : la perte de l'énergie par ionisation avant le presampler
 - b : le facteur de sampling pour le presampler
 - c : le facteur correctif pour la perte de l'énergie par la matière inactive entre le presampler et l'accordéon
 - λ : le facteur de sampling et de correction pour l'énergie déposée en dehors du cluster dans l'accordéon
 - d : correction de l'énergie déposée derrière l'accordéon
- Ces facteurs de correction dépendent de l'énergie incidente et de la position en η . Ils sont dérivés à partir de Monte Carlo (calibration-hit).

Corrections

• Correction de haute tension :

- Pendant le CTB, la haute tension d'un secteur (une zone de taille 0.2×0.2 en $\eta - \phi$) est en dessous de la valeur nominale \Rightarrow l'énergie visible est sous-mesurée.
- A 180 GeV, la correction permet de récupérer 10.6 GeV de l'énergie visible du cluster et d'améliorer la résolution par 10%.

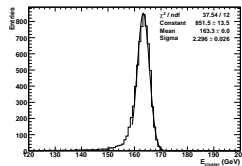
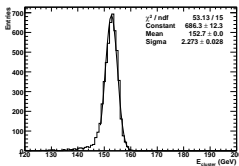
• Correction en η :

- la fraction d'énergie en dehors du cluster dépend du point d'impact en η dans la cellule
- La variation est réduite de 1.0% environ à 0.2% après une correction parabolique

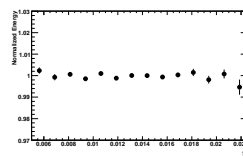
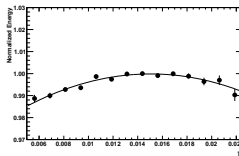
• Correction en ϕ :

- avec une correction sinusoidale convoluée avec une parabole, la variation décroît de 1.0% à 0.2%

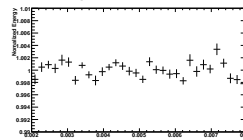
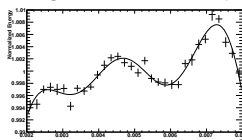
Energie du cluster avant et après la correction HV



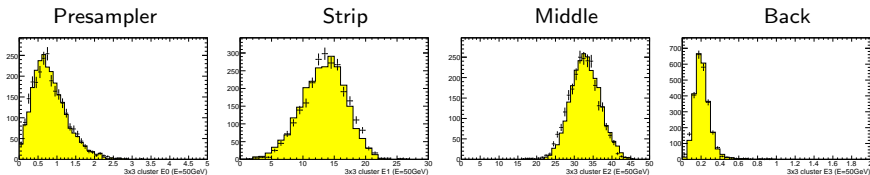
Energie normalisée vs. η avant et après la correction



Energie normalisée vs. ϕ avant et après la correction



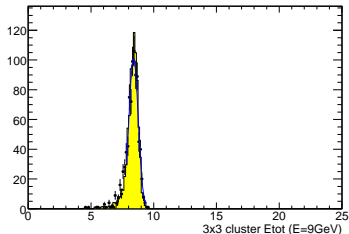
Comparaisons données réelles et simulées



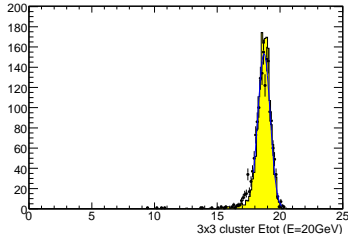
50 GeV : énergie sur chaque sampling

- Le développement longitudinal de la gerbe électromagnétique est bien reproduit dans Monte Carlo
- La forme de la distribution de l'énergie totale reconstruite est aussi bien décrite par les données simulées

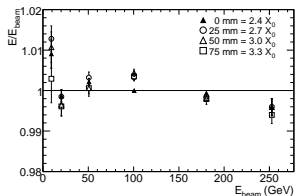
9 GeV



20 GeV



Linéarité, uniformité et résolution



- **Linéarité** : pour différentes énergies (9 – 250 GeV) et configurations de matière inactive avant le calorimètre ($|\eta| = 0.687$), l'accord entre les données réelles et Monte Carlo de la valeur moyenne normalisée de l'énergie reconstruite est environ 0.5%.

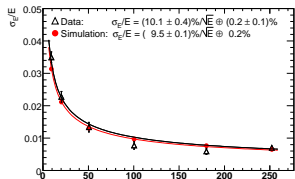
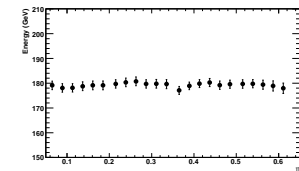
- **Uniformité** : à 180 GeV la réponse du calorimètre est uniforme à 0.5% pour la région $\eta = 0.0 - 0.6$, en accord avec les résultats de tests précédents et avec les spécifications d'ATLAS.

- **Résolution** :

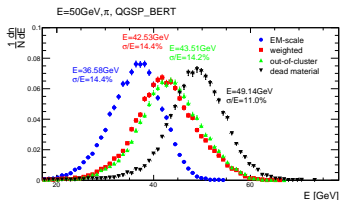
- La courbe de résolution est fitée avec la fonction :

$$\frac{\sigma(E)}{E} = \frac{a}{\sqrt{E}} \oplus b$$

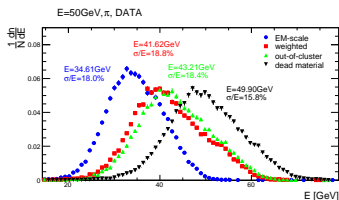
- Le terme stochastique a , égal à $10.1 \pm 0.4\%$ dans les données réelles, est en accord avec la valeur Monte Carlo $9.5 \pm 0.1\%$ et en accord avec la spécification d'ATLAS (10%).
- Le terme constant local $b = 0.2\%$ est nettement inférieur à la spécification d'ATLAS pour un terme constant global d'environ 0.7% (incluant tous les effets de non-linéarité).



Mesure de l'énergie de pion



50 GeV : Monte Carlo

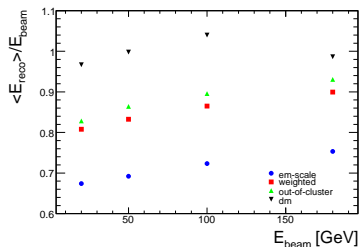


50 GeV : données réelles

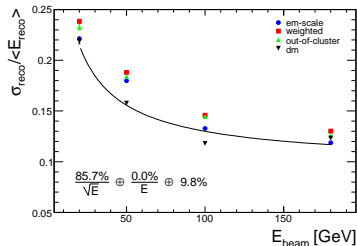
- La méthode de calibration hadronique locale, développée pour le calorimètre hadronique d'ATLAS, a été testée sur les données du CTB.
- A partir de l'énergie mesurée par le calorimètre à tuiles, différentes étapes de correction :
 - pour l'énergie invisible (weighting) au niveau du cluster $E_{mesuree} \Rightarrow E_{vraie}$ en fonction de la densité d'énergie de cellules et de l'énergie du cluster.
 - pour l'énergie en dehors du cluster.
 - pour la matière devant le calorimètre à argon liquide et entre les deux calorimètres (LAr et tuiles).

		mesurée	weighting	hors de cluster	matière
Energie (GeV)	Monte Carlo	36.58	42.53	43.51	49.14
	données réelles	34.61	41.62	43.21	49.90
$\sigma(E)/E$ (%)	Monte Carlo	14.4	14.4	14.2	11.0
	données réelles	18.0	18.8	18.4	15.8

Linéarité et résolution



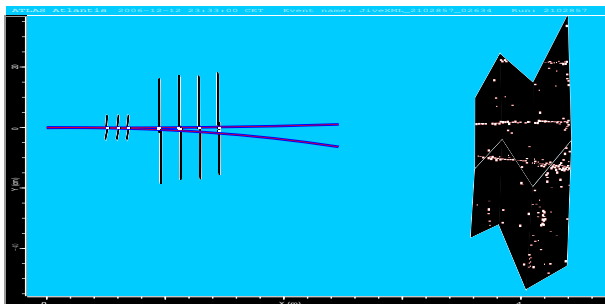
Données réelles



Données réelles

- La linéarité dans les données réelles est environ 5% contre 2 – 3% seulement dans les données simulées.
- La résolution obtenue avec les données réelles est environ 50% moins bonne qu'avec Monte Carlo.
- Ces résultats sont préliminaires :
 - l'intercalibration entre le LAr et le calorimètre à tuiles n'est pas encore disponible.
 - matière morte : études d'algorithmes de correction en cours.
 - contamination de protons dans le faisceau de pions : de 0% à 20 GeV jusqu'à 75% à 180 GeV.

Conversions de photons : introduction



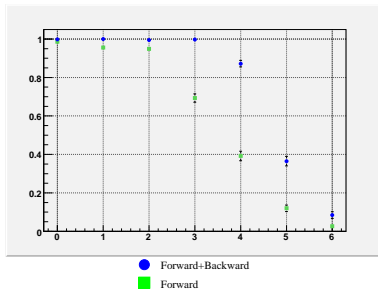
- Reconstruction de traces :

- Stratégie standard (forward tracking) : recherche de candidats de trace dans le Pixels et le SCT avant de prolonger le segment Pixel+SCT dans le TRT.
- Reconstruction basée sur le TRT (back tracking) : procéder dans le sens inverse.
- Combiner les deux collections de traces en enlevant les double comptages.

- Reconstruction de vertex : basée sur le filtre de Kalman (VKalVrt)

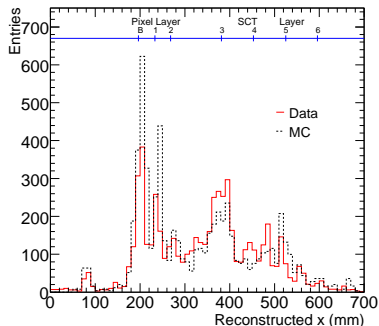
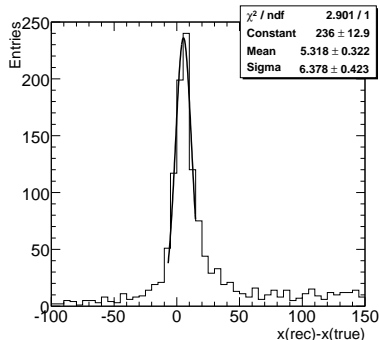
- A priori l'algorithme est utilisable pour toute reconstruction de vertex primaire ou secondaire. Il est testé pour la première fois avec les données réelles du CTB.
- La contrainte de masse (≤ 100 keV) est imposée dans cette analyse.

Conversion de photon : efficacité de reconstruction de traces

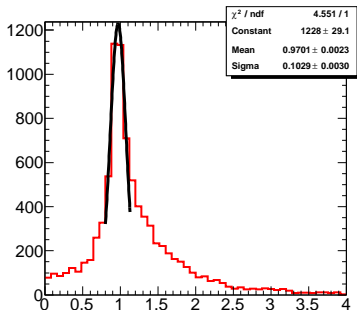
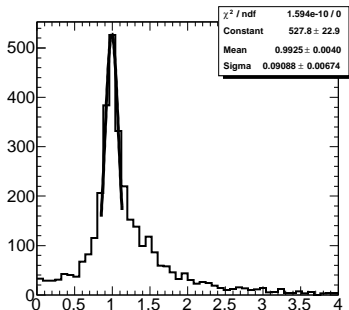


- L'efficacité atteint 100% pour les conversions dites tôt (dans les couches Pixels).
- Elle descend à 85% pour des conversions ayant lieu sur la première couche SCT et à 10% pour la quatrième couche SCT
- Dans ATLAS, il est possible d'améliorer cette efficacité sur les dernières couches SCT en utilisant exclusivement les segments TRT. Cependant, le contexte CTB le rend plus difficile : le TRT est en dehors du champ magnétique et la distance TRT-SCT est beaucoup plus importante (environ 1 mètre).

Conversions de photons : reconstruction du vertex



- La reconstruction du vertex de conversion utilise l'outil standard d'ATLAS (basé sur le filtre de Kalman)
- La résolution du vertex dans CTB est $\sigma = 6.4 \pm 0.4$ mm (versus $\sigma = 5$ mm dans ATLAS avec un champ magnétique plus important et l'utilisation du TRT)
- La structure des couches Pixels et SCT est visible dans la distribution de vertices de conversion :
 - Les deux dernières couches SCT sont moins bien reconstruites à cause de la faible efficacité de reconstruction de traces dans cette région.

Conversions de photons : E/p 

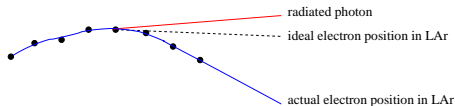
- Le cluster associé avec la trace est de type topologique. L'impulsion de la trace est donnée par la partie silicium (Pixels+SCT) seulement.
- Les données simulées décrivent bien les données réelles :

	μ	σ
Monte Carlo	0.993 \pm 0.004	0.091 \pm 0.007
Données réelles	0.970 \pm 0.002	0.103 \pm 0.003

- Possibles améliorations :
 - Calibration de l'énergie du cluster (pas de correction de matière en ce moment).
 - Inclure le TRT dans la mesure de l'impulsion de la trace et correction de bremsstrahlung (?)

Corrections de bremsstrahlung pour les électrons : introduction

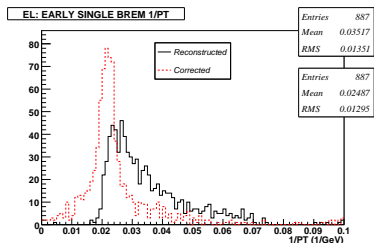
- Dans ATLAS, à $\eta = 0$, environ 35% des électrons de $p_T = 25$ GeV perdent au moins 20% de leur énergie par bremsstrahlung dans le détecteur interne.



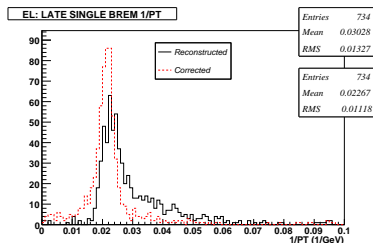
- A basses énergies (≤ 20 GeV), différents algorithmes de correction de bremsstrahlung existent en se basant exclusivement sur le détecteur interne : Kalman, Gaussian Sum Fitter, Dynamic Noise Adjustment. A plus hautes énergies, la correction doit faire appel au calorimètre électromagnétique.
- L'idée de correction de bremsstrahlung par le calorimètre est basée sur l'observation suivante :
 - Le barycentre du système électron-photon pondéré par l'énergie transverse de chaque particule reste le même que celui d'un électron idéal sans bremsstrahlung.
 - Dans ATLAS, la plupart du temps, le photon et l'électron sont reconstruits par le calorimètre dans un seul cluster.
- Implémentation :
 - La trace initiale est divisée en deux parties. Les hits de la partie proche de l'origine des coordonnées sont combinés avec la position du cluster électromagnétique (considéré comme un hit ordinaire)
 - L'ensemble est fitté avec un algorithme de refitting de trace (Kalman). La meilleure division de la trace initiale est celle qui minimise le χ^2 du fit. La nouvelle impulsion est donnée par ce fit.

Corrections de bremsstrahlung : vérification

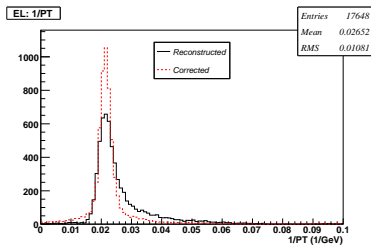
- La cohérence et la performance du code sont vérifiées systématiquement dans un maximum de cas de figure possibles :
 - Les électrons sans bremsstrahlung se comportent comme les pions. La correction ne doit pas détruire la forme gaussienne de la distribution de $1/pT$.
 - Les électrons avec un seul bremsstrahlung suffisamment important ($\geq 10\%$ de perte d'énergie due au photon)
 - Les électrons avec au moins deux bremsstrahlungs



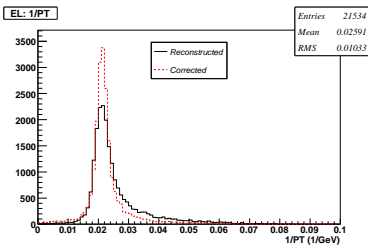
50 GeV : 1 photon de bremsstrahlung tôt
(sur les couches Pixels)



50 GeV : 1 photon de bremsstrahlung tard
(après les couches Pixels)

Corrections de bremsstrahlung : le spectre inclusif $1/pT$ 

50 GeV : Monte Carlo

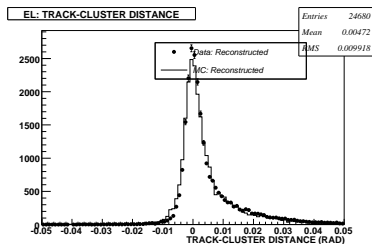


50 GeV : Données réelles

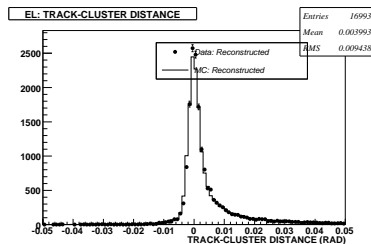
- Fraction de queue de bremsstrahlung est définie comme la fraction des électrons ayant perdu au moins 50% de leur énergie initiale par bremsstrahlung

Fraction de queue	$1/pT$ reconstruit		$1/pT$ corrigé	
	données réelles	Monte Carlo	données réelles	Monte Carlo
50 GeV	$9.1 \pm 0.1\%$	$9.7 \pm 0.1\%$	$3.4 \pm 0.0\%$	$3.1 \pm 0.0\%$

Corrections de bremsstrahlung : distance entre la trace et le cluster



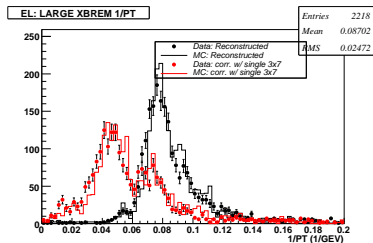
20 GeV



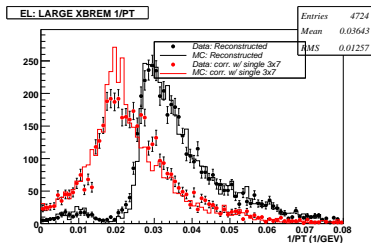
50 GeV

- Pour une comparaison plus détaillée entre les données réelles et Monte Carlo, les événements avec une forte activité de bremsstrahlung sont sélectionnés :
 - avec une grande différence en ϕ entre la trace extrapolée et le cluster électromagnétique (XBrem). La valeur minimum est définie à 20 mrad pour le faisceau de 20 GeV et 5 mrad pour le faisceau de 50 GeV.
 - avec au moins deux clusters électromagnétiques reconstruits séparément.

Corrections de bremsstrahlung : événements à grand $XBrem$



20 GeV



50 GeV

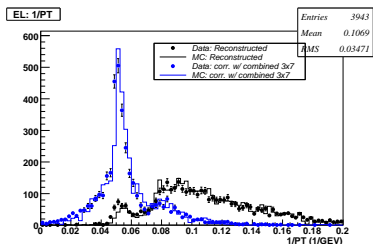
- Dans la limite de statistique actuelle, il y a un bon accord entre les données réelles et simulées, à la fois sur le spectre de $1/pT$ reconstruit et sur le spectre de $1/pT$ corrigé.

Fraction de queue

 $1/pT$ reconstruit $1/pT$ corrigé

	$1/pT$ reconstruit		$1/pT$ corrigé	
	données réelles	Monte Carlo	données réelles	Monte Carlo
20 GeV	$21.7 \pm 0.5\%$	$21.4 \pm 0.5\%$	$8.7 \pm 0.2\%$	$10.6 \pm 0.2\%$
50 GeV	$32.9 \pm 0.5\%$	$33.5 \pm 0.5\%$	$11.5 \pm 0.2\%$	$10.0 \pm 0.2\%$

Corrections de bremsstrahlung : événements ayant au moins deux clusters



- Dans ces événements, l'électron incident produit un photon de bremsstrahlung assez énergétique tout au début du détecteur interne et par conséquent l'électron et le photon se trouvent suffisamment loin dans le calorimètre électromagnétique. Leurs clusters respectifs sont reconstruits séparément par le calorimètre.
- La position ϕ utilisée dans la correction est calculée en moyennant les position ϕ de clusters composants avec l'énergie transverse respective comme poids.

Fraction de queue	$1/pT$ reconstruit		$1/pT$ corrigé	
	données réelles	Monte Carlo	données réelles	Monte Carlo
20 GeV	$55.7 \pm 0.9\%$	$56.8 \pm 0.9\%$	$4.9 \pm 0.1\%$	$4.8 \pm 0.1\%$

Impacts du CTB sur ATLAS

- Software :

- Développement et validation d'algorithmes de calibration (calorimètre électromagnétique) et d'alignement (détecteur interne).
- Raffinement des outils de reconstruction et d'analyse (ToT et TR, calibration électromagnétique, conversions de photons, corrections de bremsstrahlung des électrons).
- Prise en compte de la matière (et les informations!) du détecteur interne pour analyser le calorimètre à argon liquide et vice-versa.

- Résultats :

- Performance du TR et ToT du TRT.
- Performance du calorimètre à argon liquide en linéarité, uniformité et résolution.
- Performance de reconstruction de conversions de photons dans le détecteur interne.

Conclusions

- Même si les analyses du CTB aura pris presque 5 ans au total, le CTB aura été un succès :
 - Calibration et alignement.
 - Environnement online et offline communs.
 - Référence de base pour la performance du calorimètre ATLAS.
- ATLAS se repose sur une procédure de calibration Monte Carlo pour la reconstruction des données. Le CTB aura servi à la valider et l'améliorer.
- Pour électrons et surtout pions, les données du faisceau de test du calorimètre à argon liquide devront être préservées.