



Les jets hadroniques dans ATLAS

Pierre-Antoine Delsart

LPSC Grenoble, 22 mars 2006

Université de Montréal



Plan

- Introduction à l'expérience
- La problématique des jets hadroniques
- Le travail sur les jets dans ATLAS
 - implémentations
 - calibration
- Les jets dans le processus $WZ \rightarrow WZ$

Le LHC

Quelques chiffres essentiels :

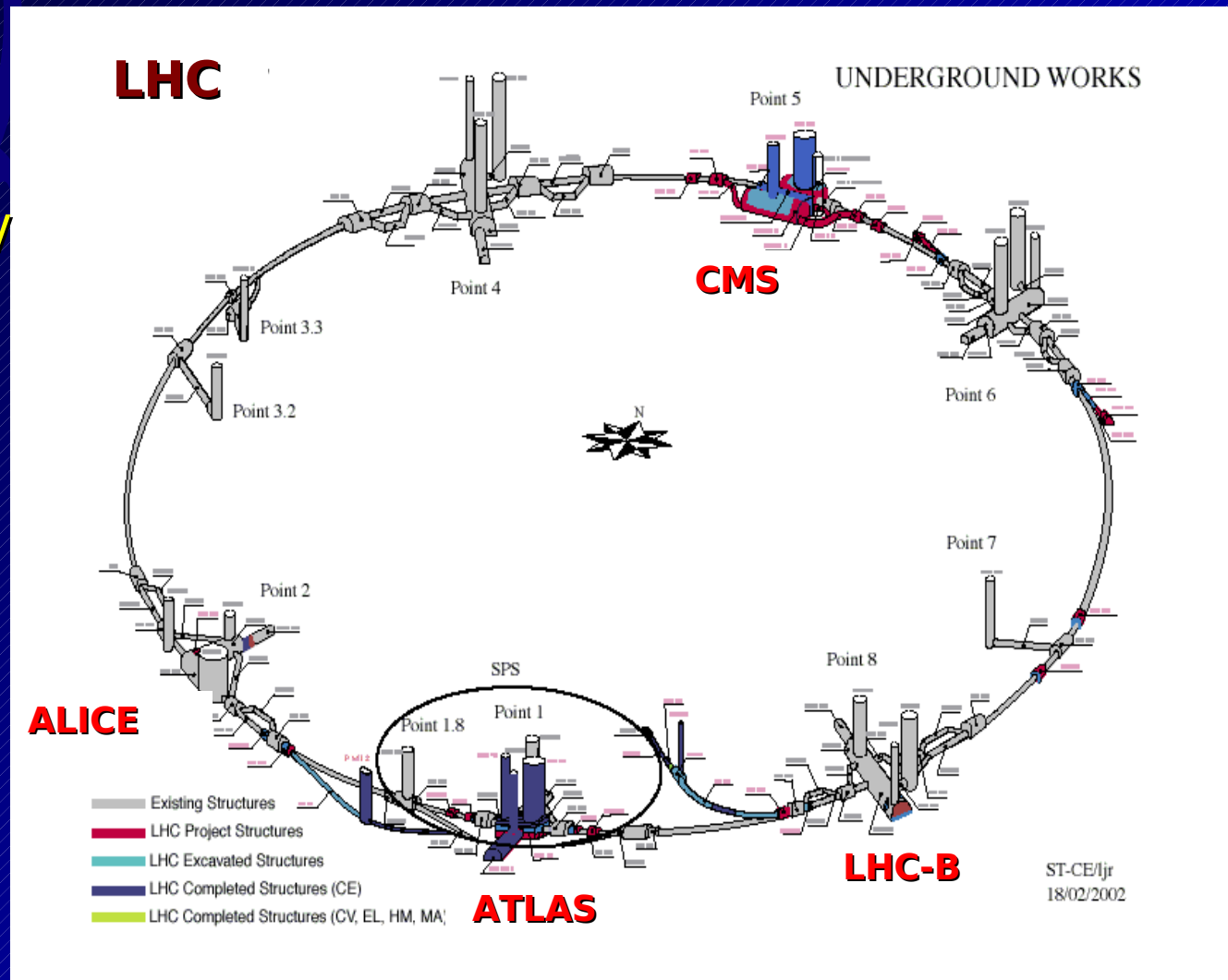
collisions pp avec $E_{CM}=14 \text{ TeV}$

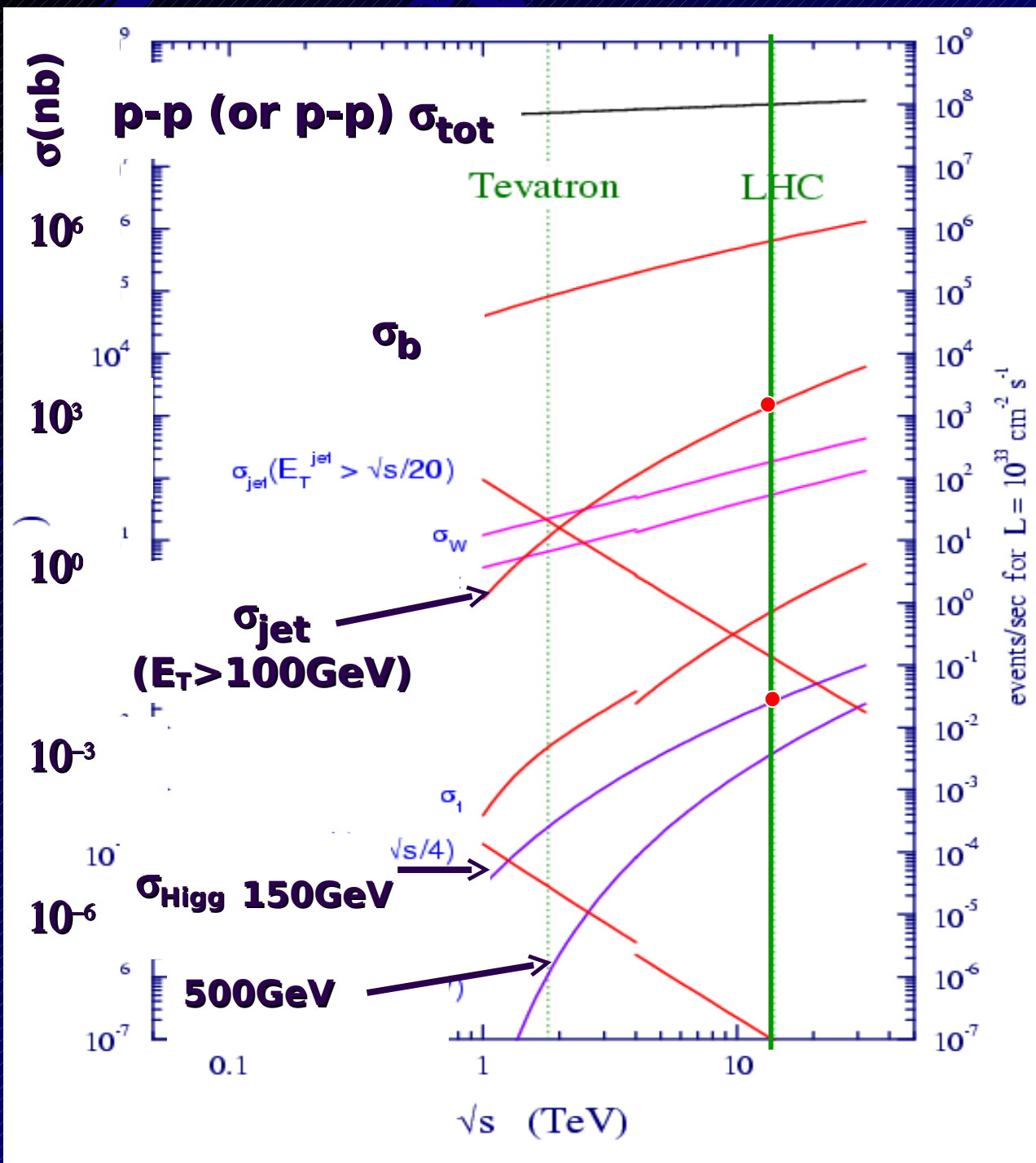
Luminosité:

- basse = $10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- haute = $10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

Croisement de faisceaux :
toutes les 25 ns (40MHz)

23 événement biais minimum
par croisement

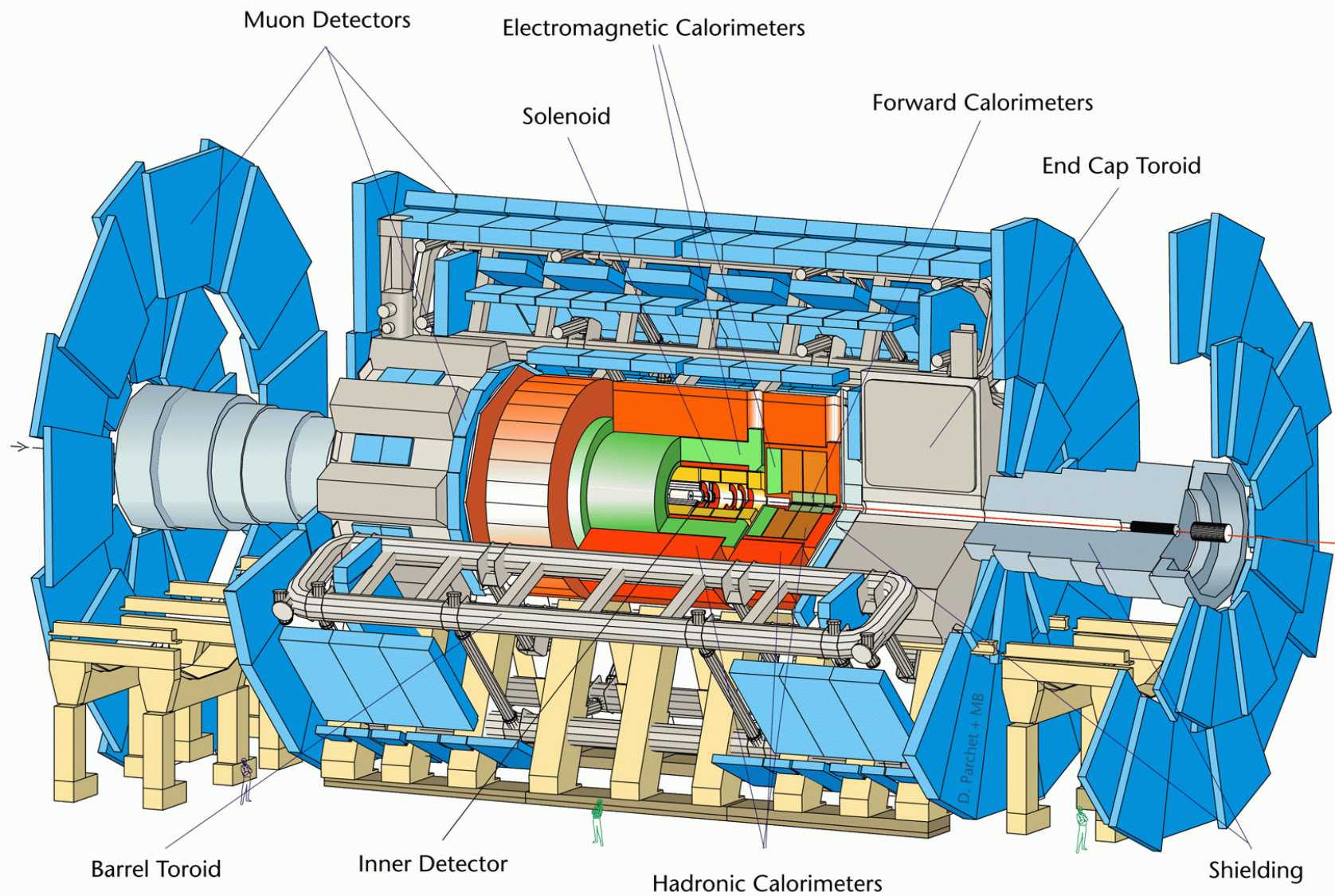




Channel	Recorded [1 fb ⁻¹]
W	7 x 10 ⁶
Z	1 x 10 ⁶
tt + X	0.1 x 10 ⁶
Jets p _T >150GeV (if 10%bandwidth)	10 ⁶
Min Bias (10% bandwidth)	10 ⁶ (can be larger)
gg (M~1 TeV)	10 ² -10 ³

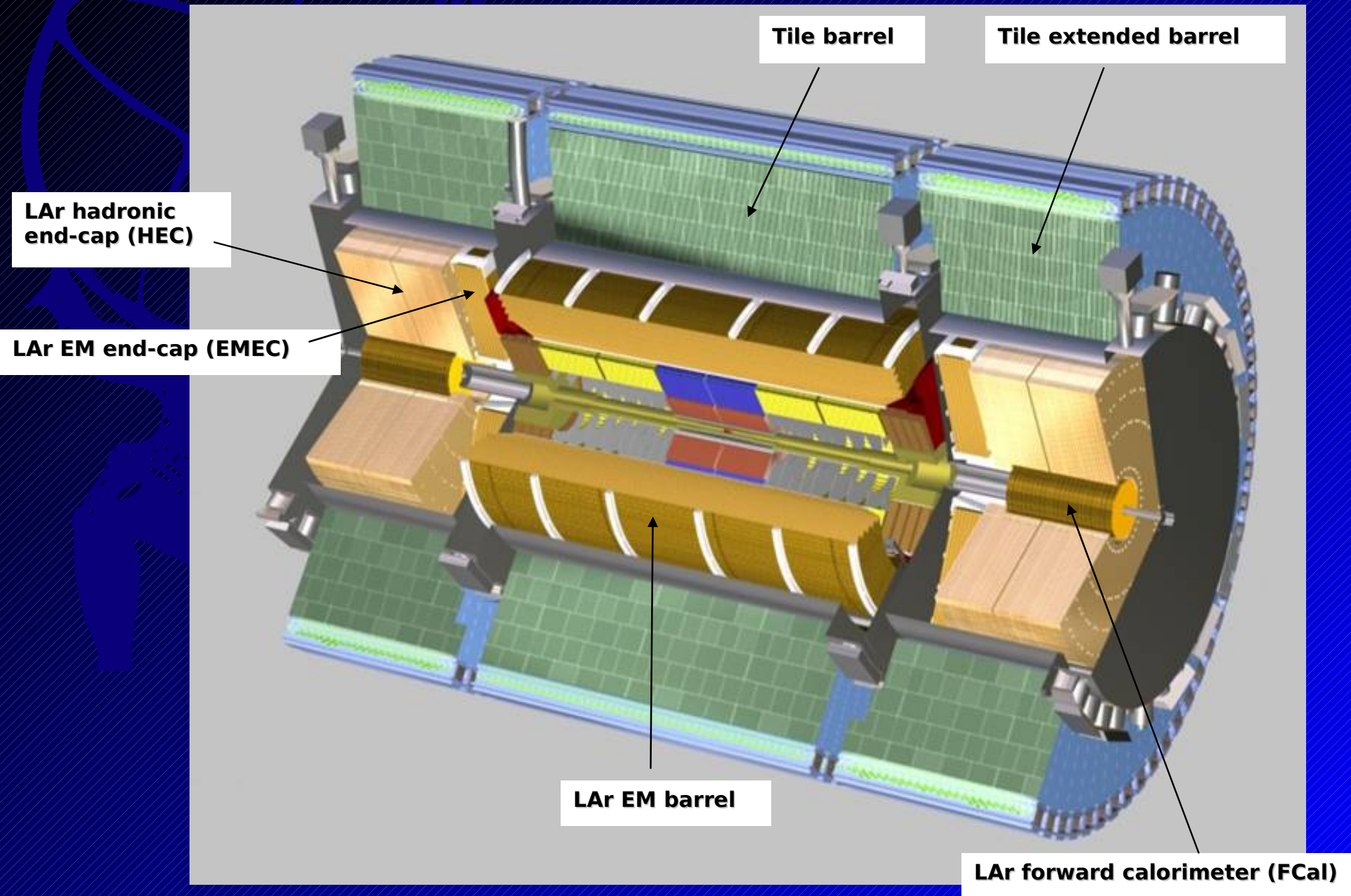
ATLAS

D712/mb-26/06/97



Length ~45 m, height ~22 m, weight ~7000 tons

Le calorimètre d'ATLAS



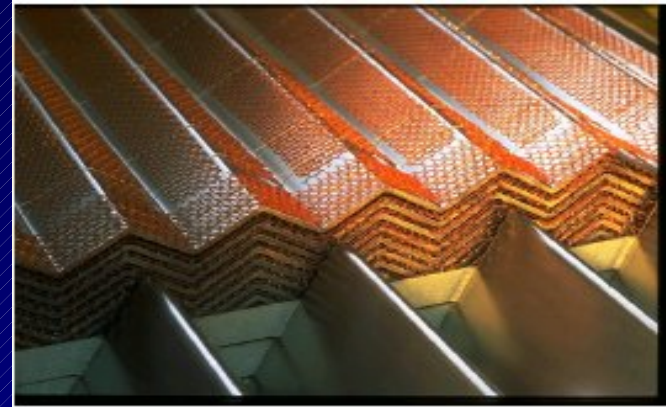
Calorimètre EM :
Argon-Liquide et Plomb
forme en accordéon
 $|\eta| < 2.5$

Calorimètre Hadronique avant:
Argon-Liquide et cuivre
 $1.5 < |\eta| < 3.2$

FCAL :
Argon-Liquide et cuivre/tungstène
 $3.2 < |\eta| < 4.9$

Tile Hadronic :
Plaques de scintillateurs et Fer
 $|\eta| < 1.7$

Calorimètre non-compensation :
 $e/\pi \sim 1.3-1.6$



Problématique des jets

A partir d'objets de taille ~mètre
mesurer des interactions à l'échelle du fermi

Trois niveau d'étude :

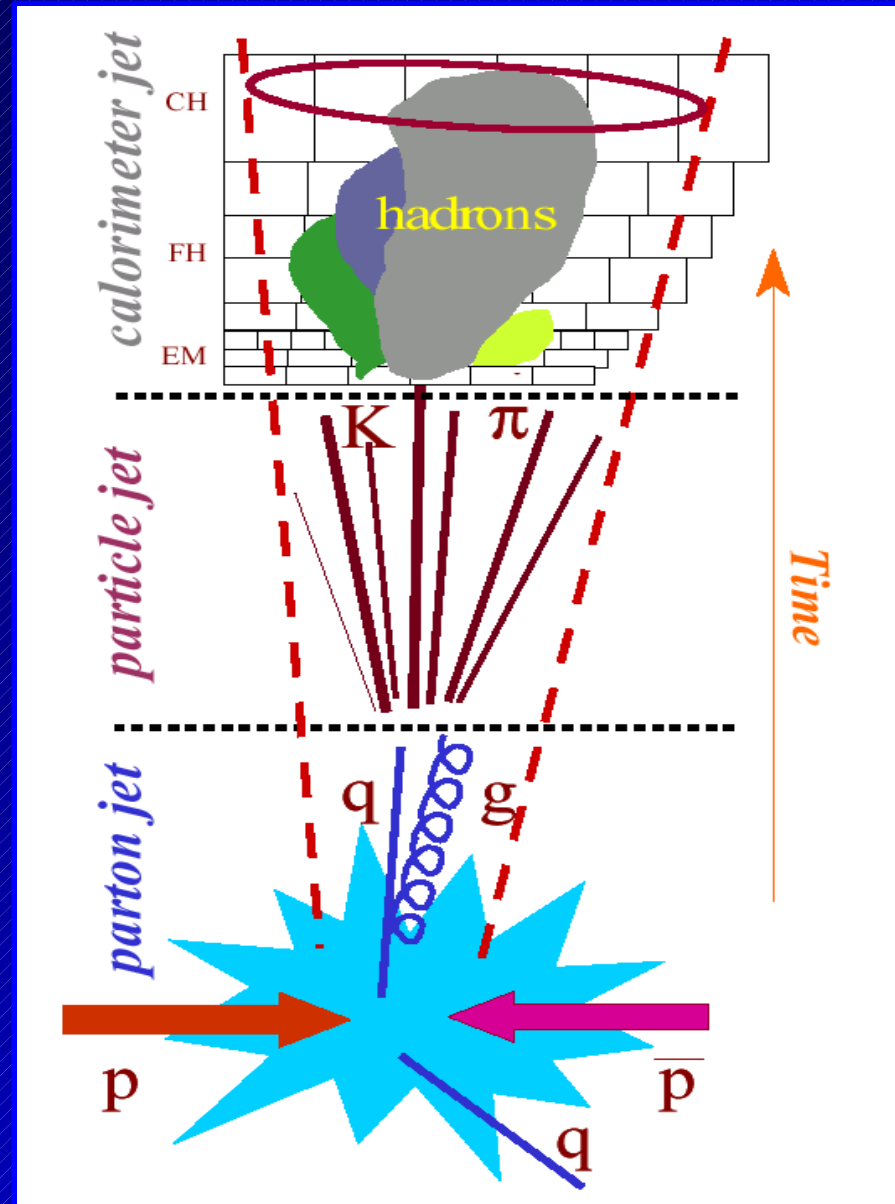
- partons
- hadrons
- calorimètre

En pratique le problème :

Ensemble de 4-vecteurs



Ensemble de groupes (=jets) de 4-vecteurs



Les algorithmes de jets

Faire le chemin inverse : rôle des algos de jets.

On attend plusieurs choses des algos de jets (cf. p.e. *Run II jet physics*).

du point de vue théorique :

- ♦ *Infrared safe*
- ♦ *Collinear safe*
- ♦ Invariance sous les boost
- ♦ Indépendance de l'ordre (partons, hadrons, calorimètre)

du point de vue expérimental :

- Indépendant du détecteur
- Peu dépendant des biais expérimentaux
- Peu dépendant de la luminosité
- Efficacité de reconstruction maximale
- Facilité de calibration
- (Temps de calcul raisonnable)

Algorithmes de cônes

Algorithme le plus simple

Motivation géométrique : associer des particules proches

Cône == cercle dans le plan (η, ϕ)

3 Étapes :

- Associer les proto-jets
- Combiner les proto-jets
- Traiter les cas de recouvrement (*split-merge* selon un critère $E_1/E_2 > f$)

Association



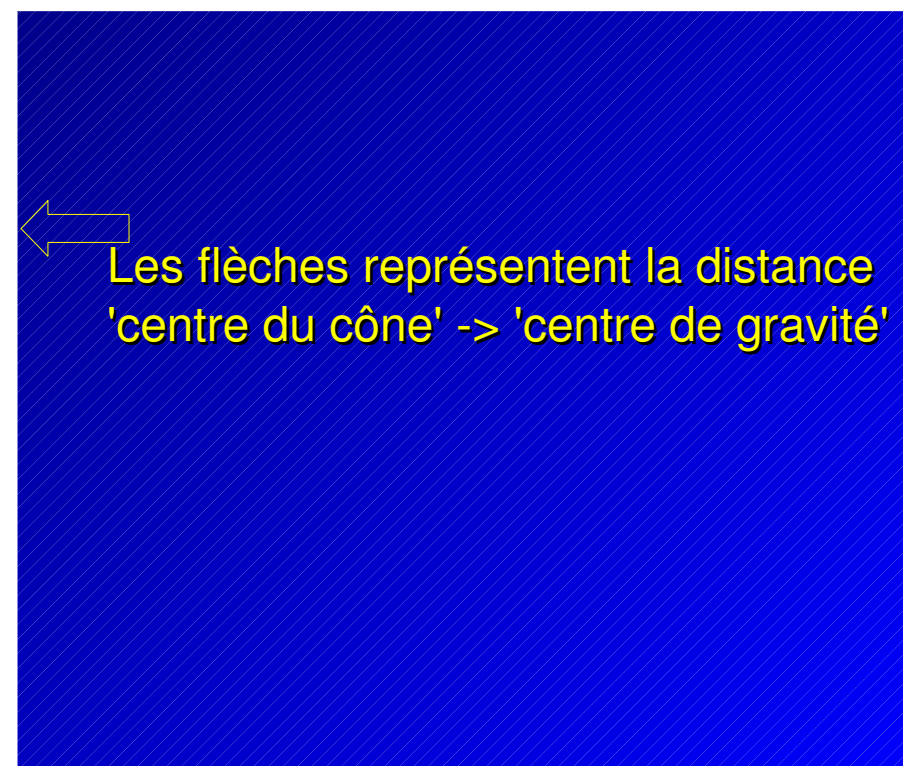
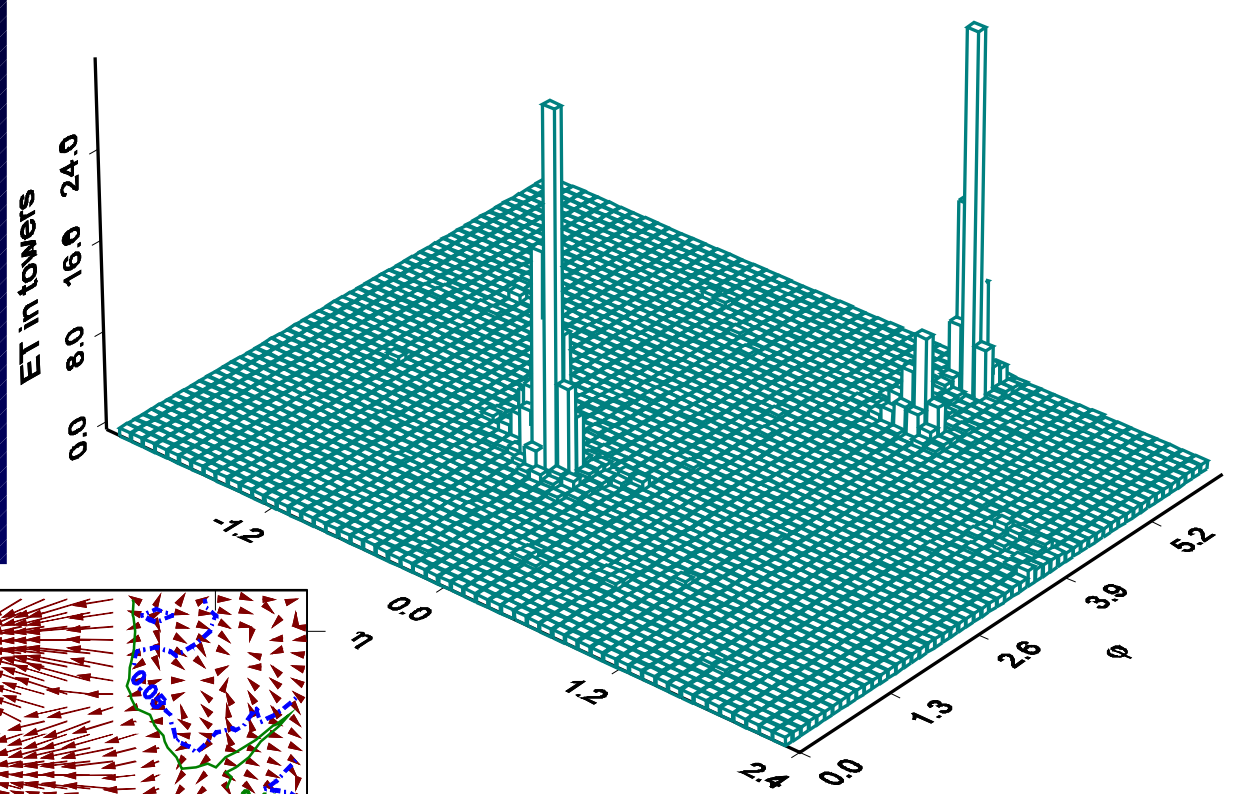
On considère un **cône test** : proto-jets tq : $(\eta - \eta_T)^2 + (\phi - \phi_T)^2 < R^2$

Calcul un 'centre de gravité' (η_G, ϕ_G)

Le cône test est défini comme un **jet** si $(\eta_G, \phi_G) = (\eta_T, \phi_T)$

Les critères pour définir 'centre de gravité' peuvent varier :

- somme vectorielle des proto-jets
- barycentre : $\eta_G = \sum (E_T \eta) / \sum E_T \dots$



Implémentation des algorithmes de cône

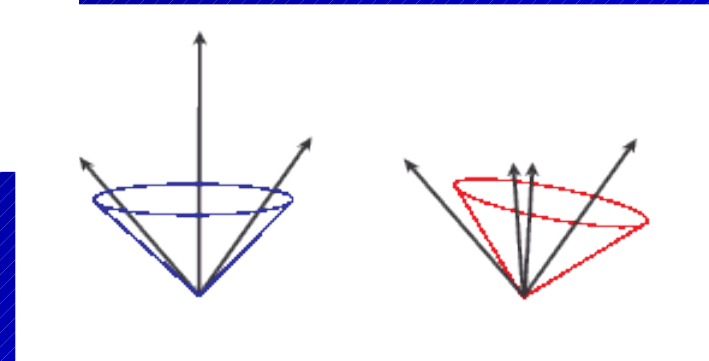
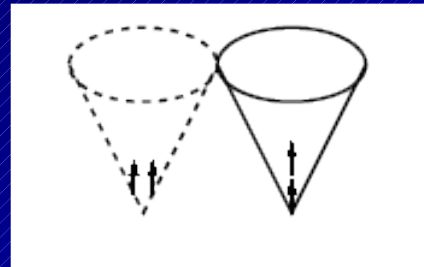
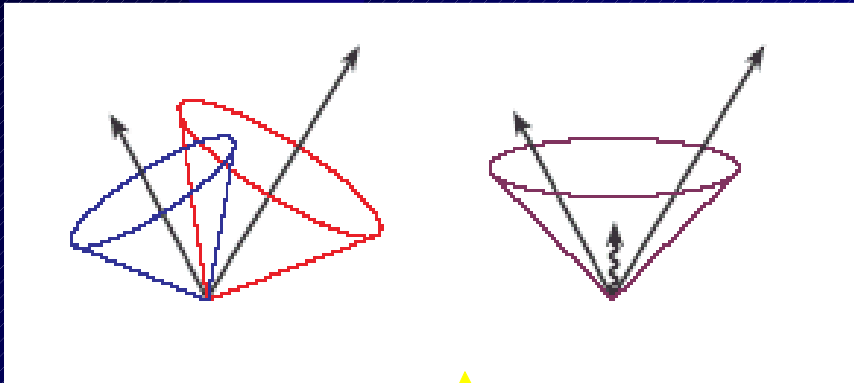
L'implémentation directe de la procédure est appelée **Seedless**

Problème : parcours de la totalité du plan == très long

Solution : *seeded*-algorithme :

- Cône test pris uniquement sur des 'graines' == proto-jets avec $E_T > E_{\text{seuil}}$

Nouveaux problèmes :



Pas 'infrared -safe' ni 'collinear safe'

Autre solution algorithme *midpoint* : utilisation de graine + test d'un cône entre tous les jets trouvés.

Algorithmes de cônes : résumé

Un algorithme intuitif et très simple à implémenter

Mais :

- La version théorique est trop lente
- La version utilisée en pratique a des biais théoriques
- Complication dues aux recouvrement
- Biais expérimentaux ont un impact important (cf. Ellis et. al , hep-ph/0111434)

Afin d'atteindre les objectifs en terme de performance :
Implémentation non-triviales nécessaires

motivation pour un autre type d'algorithmes ...

Algorithmes de Kt

Principe : associations successives de proto-jets proches.

Il existe de nombreuses variantes.

Ici, celle utilisée dans ATLAS (et au Tevatron)

On définit une 'distance' sur les proto-jets :

$$d_{ij} = \min(E_{Ti}^2, E_{Tj}^2) \Delta R^2 \text{ et } d_i = E_{Ti}^2$$

- On calcule toutes les distances : $\{d_{ij}, d_i\}$
- On calcule $d = \min\{d_{ij}, d_i\}$:
 - si $d = d_{ij}$, les proto-jets i et j sont **combinés**
 - si $d = d_i$, le proto-jet i est identifié comme un jet et retiré de la liste.
- On met à jour $\{d_{ij}, d_i\}$ et on réitère

Algorithmes de Kt

Principe : associations successives de proto-jets proches.

Il existe de nombreuses variantes.

Ici, celle utilisée dans ATLAS (et au Tevatron)

On définit une 'distance' sur les proto-jets :

$$d_{ij} = \min(E_{Ti}^2, E_{Tj}^2) \Delta R^2 \text{ et } d_i = E_{Ti}^2$$

- On calcule toutes les distances : $\{d_{ij}, d_i\}$
- On calcule $d = \min\{d_{ij}, d_i\}$:
 - si $d = d_{ij}$, les proto-jets i et j sont **combinés**
 - si $d = d_i$, le proto-jet i est identifié comme un jet et retiré de la liste.
- On met à jour $\{d_{ij}, d_i\}$ et on réitère

→ Produit une liste de jets non-ambiguë (pas de recouvrement)
Pas de biais théorique

Désavantages :

- Algorithme très long $\sim O(N^3)$
- Réputé effet 'aspirateur'
- Réputé moins bonne résolution ?

→ peut-être résolu cf. plus loin

Les jets hadroniques dans ATLAS

Un effort important d'**architecture** a été réalisé :

- ♦ 'Framework' très flexible.
 - navigation
 - Outillage logiciel
- ♦ Exactement les mêmes algorithmes exécutés avec
 - particules MC
 - Tours calorimétriques
 - Cluster calorimétriques
 - traces

Algorithmes implémentés :

- cône
- cône seedless
- K_t

Combinaison de proto-jets : somme vectorielle

Dans ATLAS: Tours calorimétriques : pré-sommation afin d'éliminer les tours $E < 0$ (bruit)
(devrait être remplacé par des méthodes basées sur les clusters)

Amélioration des algorithmes

Cône : Un algorithme de type mid-point est en cours d'élaboration

Kt : Réalisation d'un algorithme de Kt (très) rapide.

M. Cacciari et G. P. Salam : ont montré la possibilité d'un algo $\sim O(N \ln N)$

Basé sur le fait :

si i et j correspondent au $\min\{d_{ij}\}$ et $P_{Ti} < P_{Tj}$ alors

j est le plus proche voisin géométrique de i

Amélioration des algorithmes

Cône : Un algorithme de type mid-point est en cours d'élaboration

Kt : Réalisation d'un algorithme de Kt (très) rapide.

M. Cacciari et G. P. Salam : ont montré la possibilité d'un algo $\sim O(N \ln N)$

Basé sur le fait :

si i et j correspondent au $\min\{d_{ij}\}$ et $P_{Ti} < P_{Tj}$ alors

j est le plus proche voisin géométrique de i

Alors, au lieu de $\{d_{ij}\}$ on considère $\{d_{Gi}\}$ (distances au plus proche voisin) et

recherche $\min \{d_{ij}\} : \sim O(N^2)$

remplacée par :

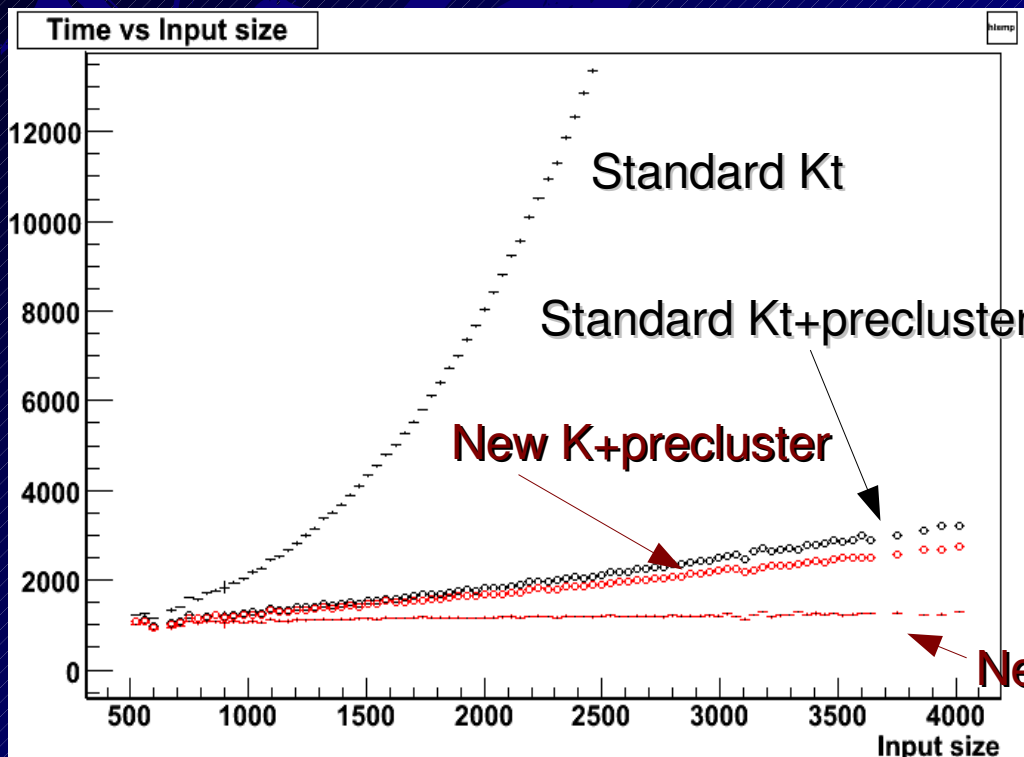
recherche $\min \{d_{Gi}\} : \sim O(N)$

En utilisant des listes triées on aboutit à $\sim O(N \ln N)$

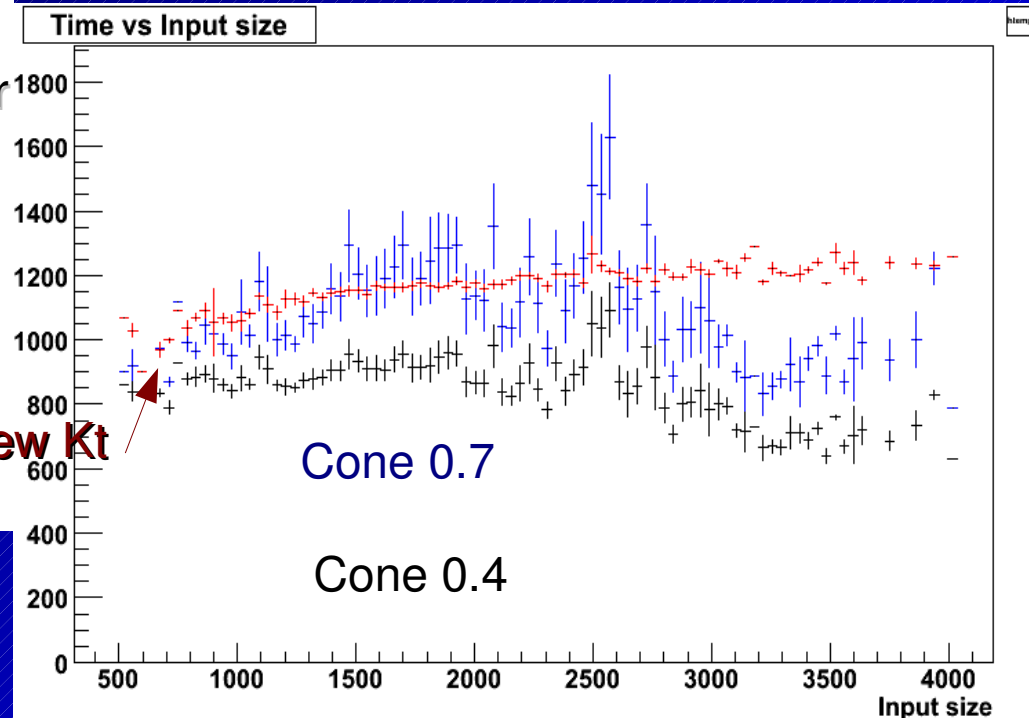
Algorithme de Kt rapide

Exactement les mêmes critères de sélection : mêmes résultats

A comparer à l'algo initial utilisant le 'pré-clustering'
(agglutination des proto-jets dans un cône 0.2 => biais de l'algo)



Comparable aux algos de cône !



Envisageable pour le trigger

Calibration des jets

Prévision de performance du TDR :

- * hadronic (central, $|\eta| < 1.7$)
 $\sigma_E/E \sim 50\% / \sqrt{E} \oplus 3\%$
- * hadronic (endcaps, $1.7 < |\eta| < 3.2$)
 $\sigma_E/E \sim 60\% / \sqrt{E} \oplus 3\%$
- * hadronic (forward, $3.2 < |\eta| < 4.9$)
 $\sigma_E/E \sim 100\% / \sqrt{E} \oplus 5\%$

Mais certains objectifs de physique électrofaible nécessitent une résolution de $\sim 1\%$

En plus des difficultés théoriques :

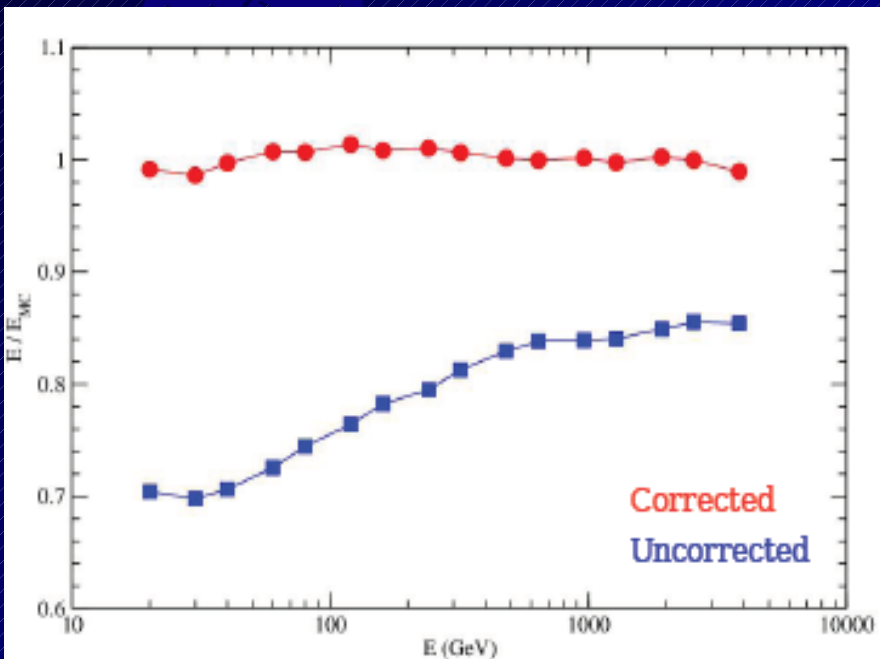
- Non compensation du calorimètre
- 'Out of cone showering'
- Effets dus au bruit (clustering)
- matériaux morts, zones non-instrumentées
- Empilement et pile-up

Approche globale

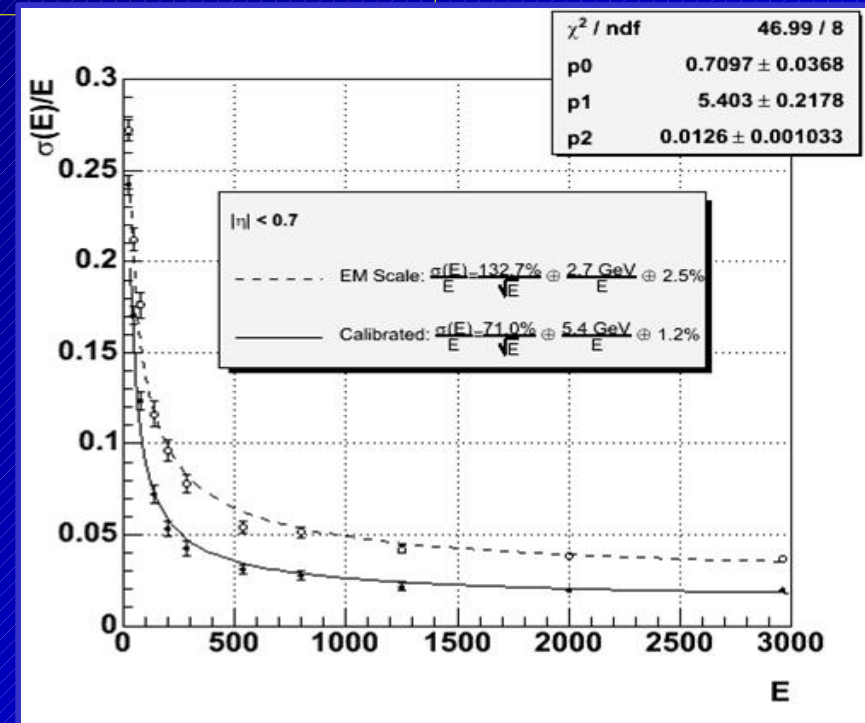
- Calibration par application de poids à des zones de calorimètres.
- Poids calculé par des 'fits' sur des événements MC
- 3 méthodes étudiées. Méthode par défaut : H1-Style

H1-Style:

- poid : $w(\text{cell}) = f(\text{calorimètre}, \text{densité } E)$
(Cell plus dense == probablement électromagnétique)
- Facteur global: $f(\text{jet } E_T, \text{jet } \eta)$



terme
constant :
~2%

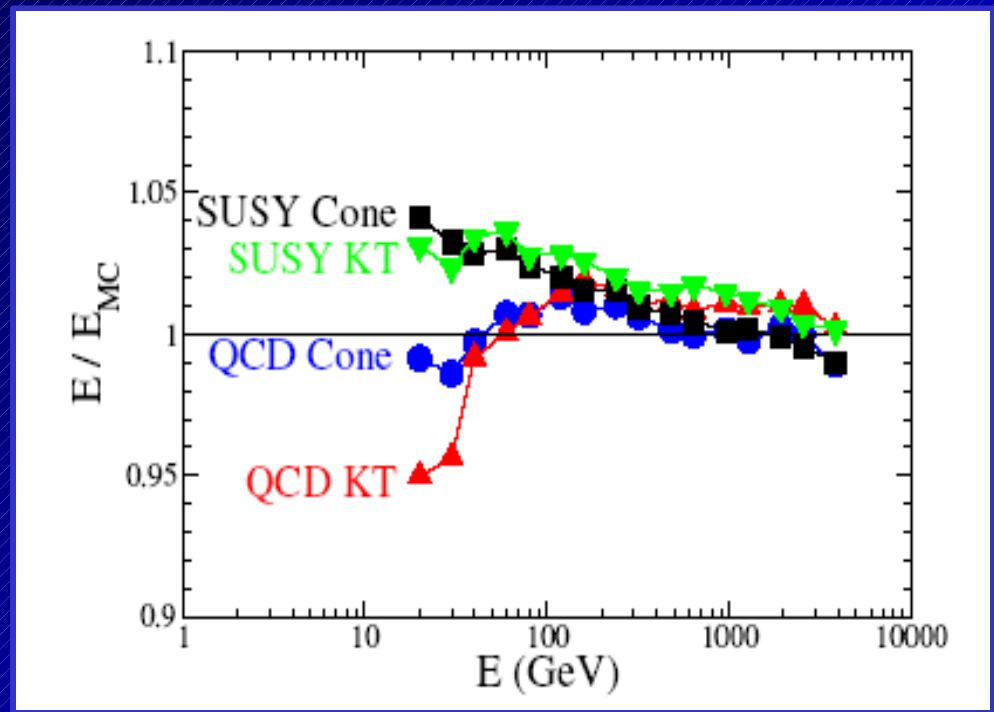


Limitations de l'approche globale

Est-elle légitime ?

jusqu'à présent : basée sur des Cone-jets $R=0.7$ construits sur tours calo.

Sensibilité à la physique :



F. Paige, ATLAS Jet/EtMiss Working Meeting 02/02/2005

Nouveau schéma de calibration

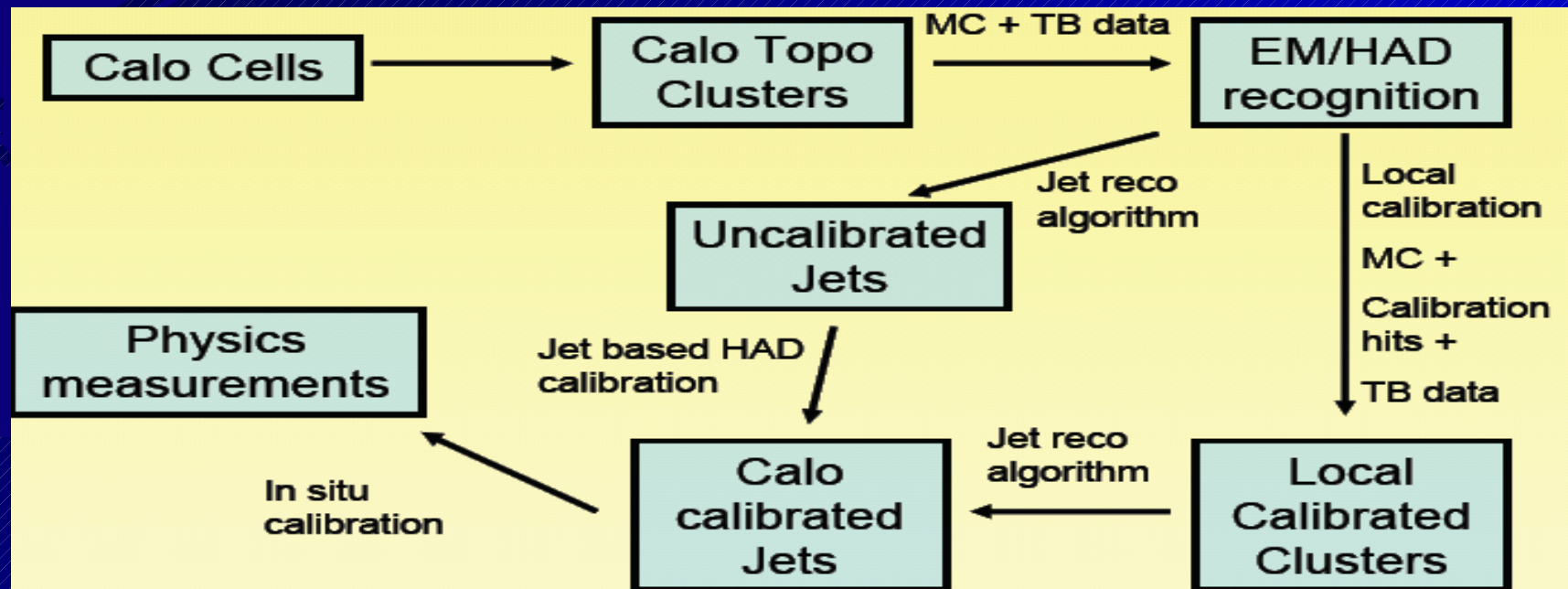
Calibration locale :

- Construction d'objets calorimétriques finaux == clusters
- Les objets physiques (jet, electrons, Emiss,...) construits à partir des clusters

Les clusters sont classifiés EM/hadronique

Ils sont calibrés indépendamment

Les objets physiques peuvent être calibrés spécifiquement
(éventuellement au niveau de l'analyse de physique)



Classification des Clusters

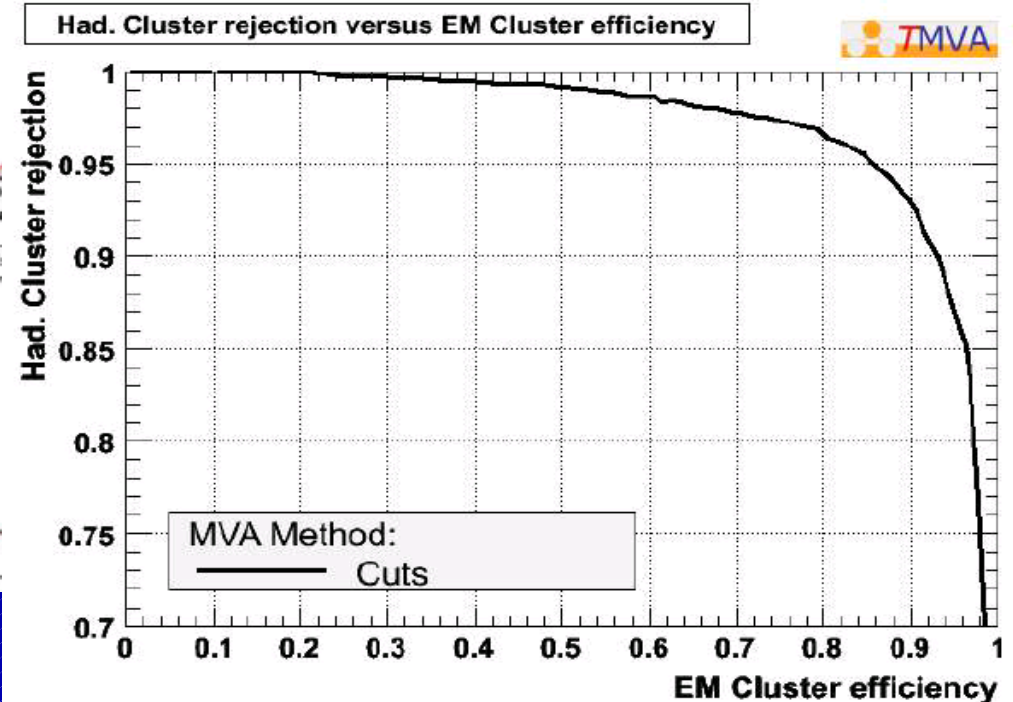
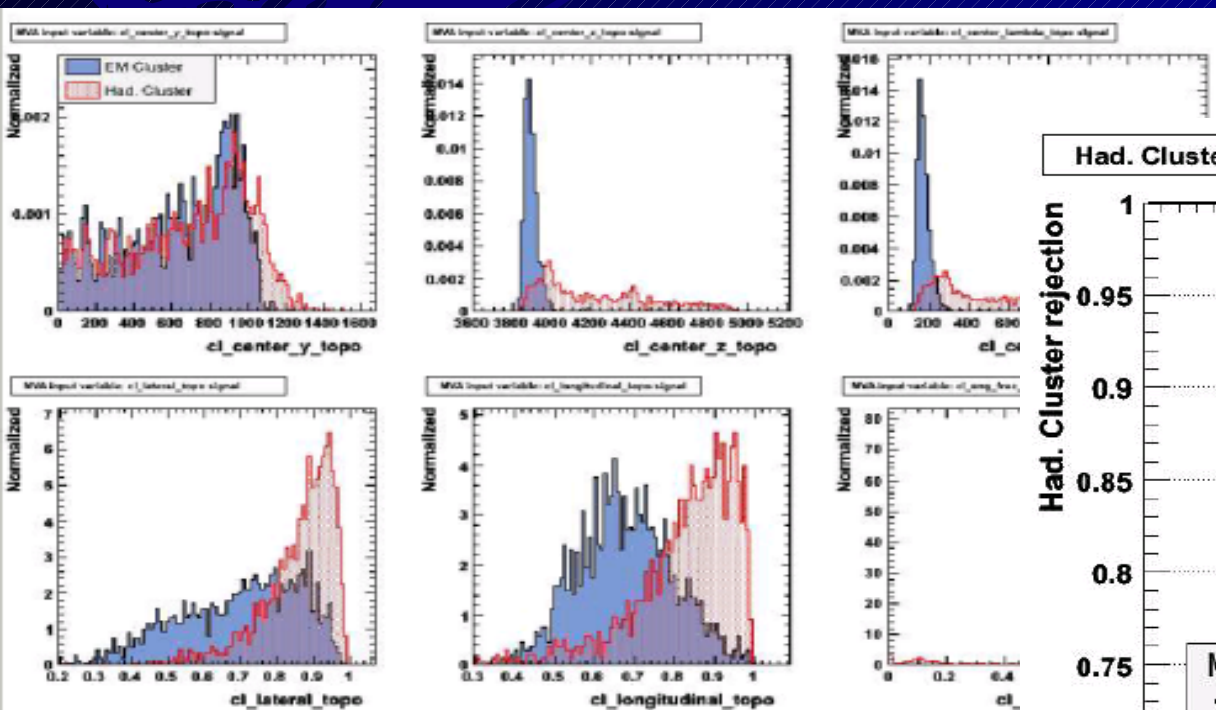
Recherche de critère de distinction
clusters Pions / clusters Electron

Utilisation de moments :

$$\langle X \rangle = \sum X_i E_i / \sum E_i \quad (X = \phi, x, y, \text{densité}, \dots)$$

Étude exhaustive en cours dans ATLAS

A partir de ~20 'moments'
- retenir 3-4 pertinants
- définir une stratégie de classification



K. Voss 2006.

Calibration des clusters

2 Possibilités :

- Utilisation d'un **Monte-Carlo complet**

$$w_{\text{cell}} = (E^{\text{EM}} + E^{\text{non-EMvis}} + E^{\text{invis}} + E^{\text{escaped}}) / E^{\text{EM}}$$

$$E_{\text{calib}} = w_{\text{cell}} E_{\text{cell}}$$

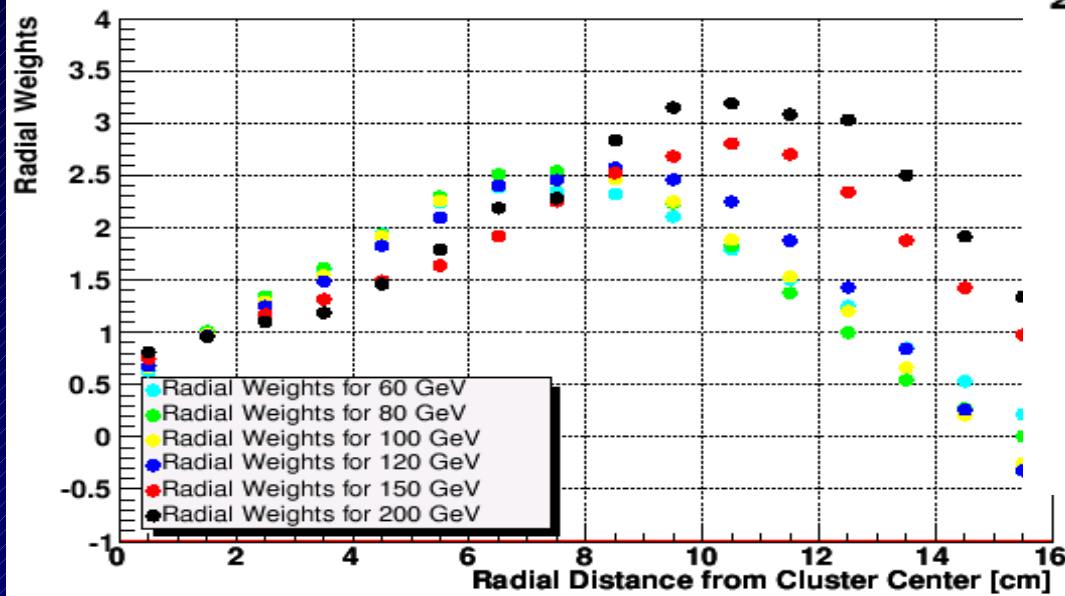
- Utilisation des données **TestBeam** :

Exemple d'étude sur les pions dans le FCAL.
Extraction de poids

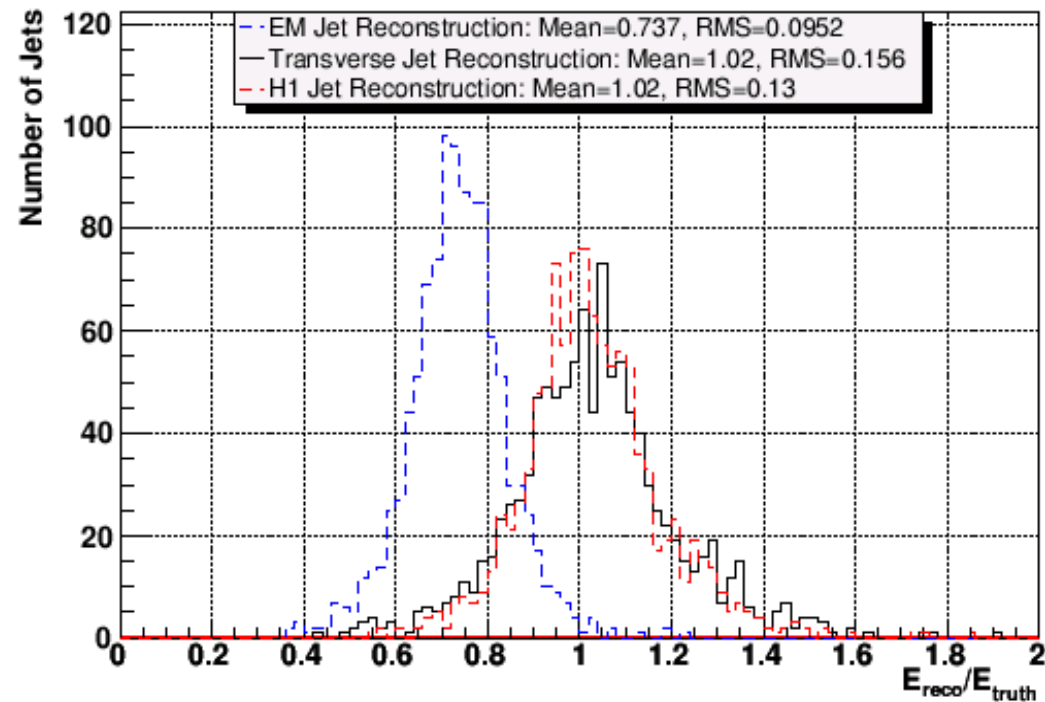
$$w = f(\text{distance axe cluster}, \dots)$$

fit des données / Énergie du faisceaux

FCal1 Radial Weights Comparison



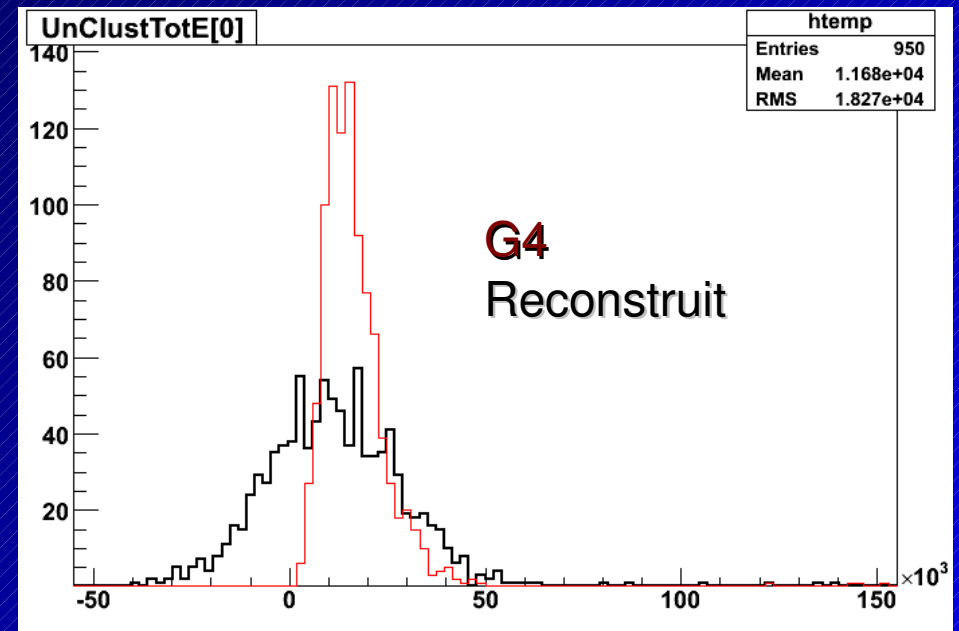
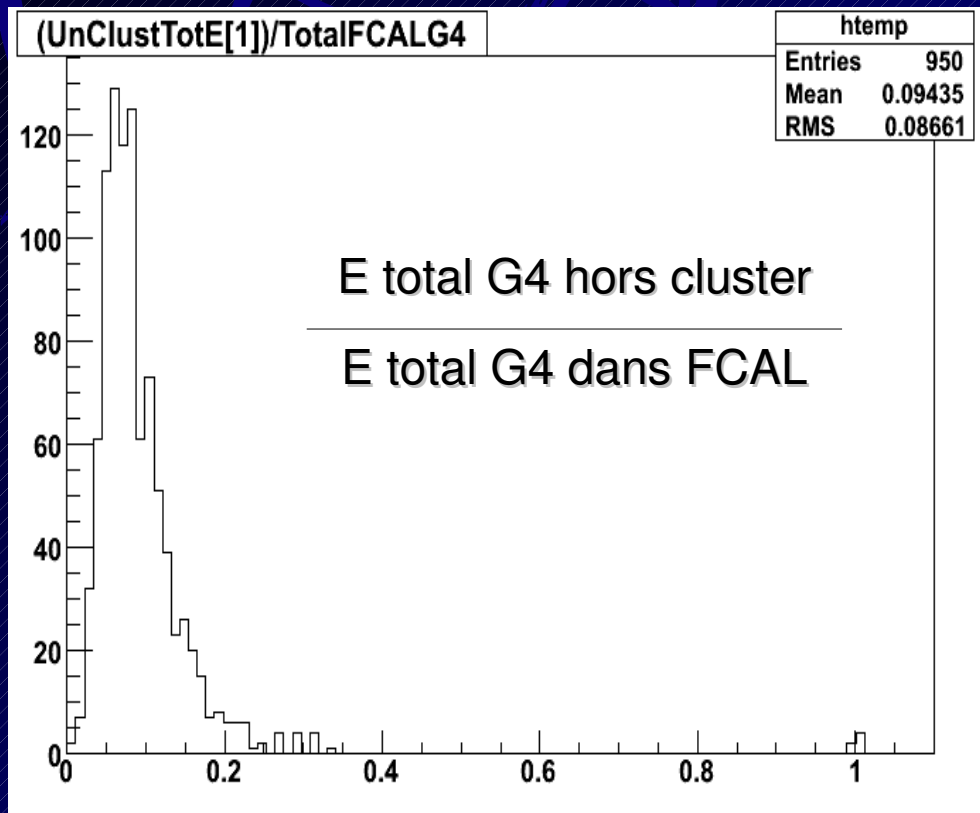
Jet Reconstruction Using Kt Cluster



Après la calibration hadronique ?

Une fois les **clusters** calibrés il faut calibrer les **jets**

Étude sur des pions 200GeV dans le FCAL en utilisant l'info complète G4 :



Même avec des clusters idéalement calibré le jet manquera ~10% de l'energie
Énergie hors clusters difficilement corrélée avec d'autres observable

Calibration in-situ

La collaboration prévoit d'utiliser les données pour calibrer le Calorimètre.

Motivations : Échelle d'énergie absolue
Cross-check avec les test-beams

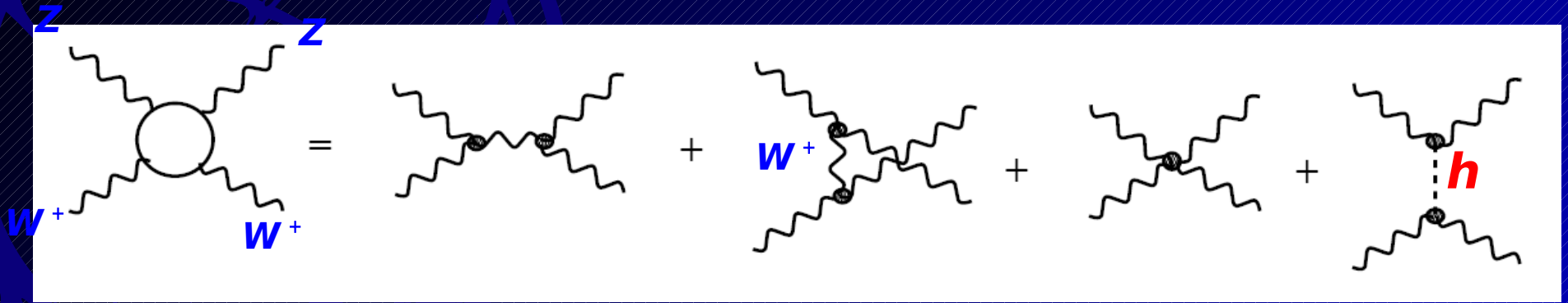
Processus envisagés :

- Z /gamma + jet : équilibre en P_t
- Contrainte par la masse W dans événement top
- E/p contrainte par $\tau^\pm \rightarrow \pi^\pm \nu$ dans événements $Z \rightarrow \tau \tau$
- Soustraction des événements sous-jacents ??

Les jets dans les processus de physique



La diffusion de vecteurs bosons



W_L et Z_L sont les bosons de Goldstone de la symétrie EW

- Sont absorbés lors du mécanisme de Higgs

$$V(\phi) = \mu^2 |\phi^\dagger \phi| + \lambda |\phi^\dagger \phi|^2 \quad \lambda = \frac{m_h^2}{2v^2}$$

- A haute masse, self interaction du Higgs devient forte

Le processus de diffusion de vecteurs boson diverge en l'absence de Higgs ou avec une masse trop haute.



Violation de l'unitarité

Dans ce cas nouvelle physique **presque garantie** !

Modèles pour la diffusion WZ

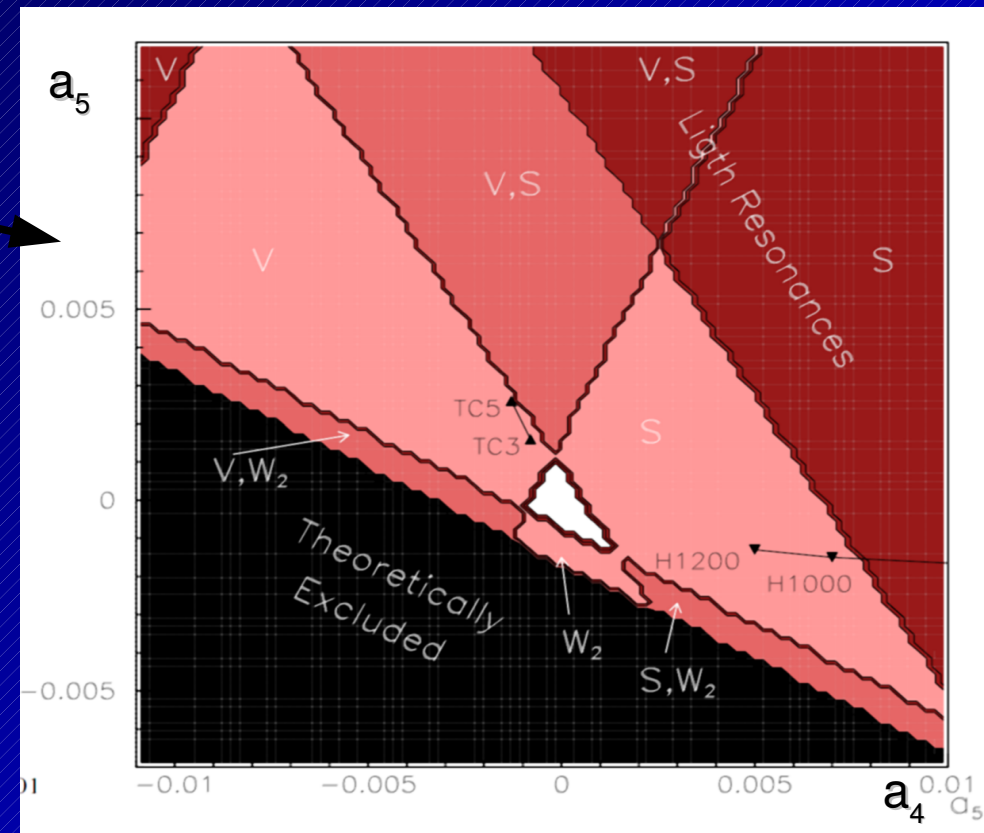
Modèle de Lagrangien chiral

- Modèle effectif : expansion en terme des impulsions
- Diffusion VV gouvernée par 2 paramètres : a_4 et a_5
- Unitarisation réalisée par la 'Inverse amplitude method'

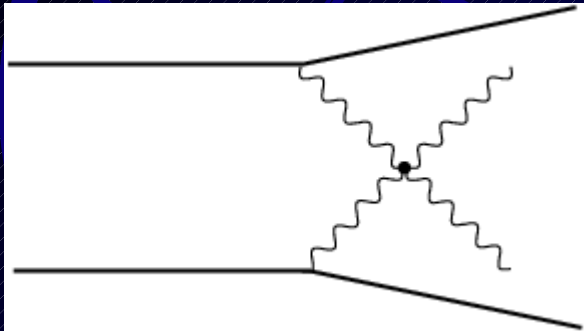
On choisit un point correspondant
à une résonance WZ de 1.1TeV

Autre modèle en considération: 'Higgsless model'

- Dimension supplémentaire incurvée
- Conditions aux frontières brisent EW
-> Pas de Higgs !!
- Résonance WZ Via une excitation KK



Signal et bruits de fond



Forward jet

Central jets

Forward jet

Fonds:

- Modèle Standard qqWZ (EM et QCD)
- Réductibles
 - ttbar
 - W+jets
 - QCD...

Caractéristiques :

- jets avants
- Peu de jets centraux (pas de connection de couleurs avec les partons)
- Bosons très énergétiques

Sections efficaces :

qqWZ→WZ→ jet jet II	4 fb
qqWZ→WZ→ lnu jet jet	13.6 fb
qqWZ→WZ→ lnu II	1 fb

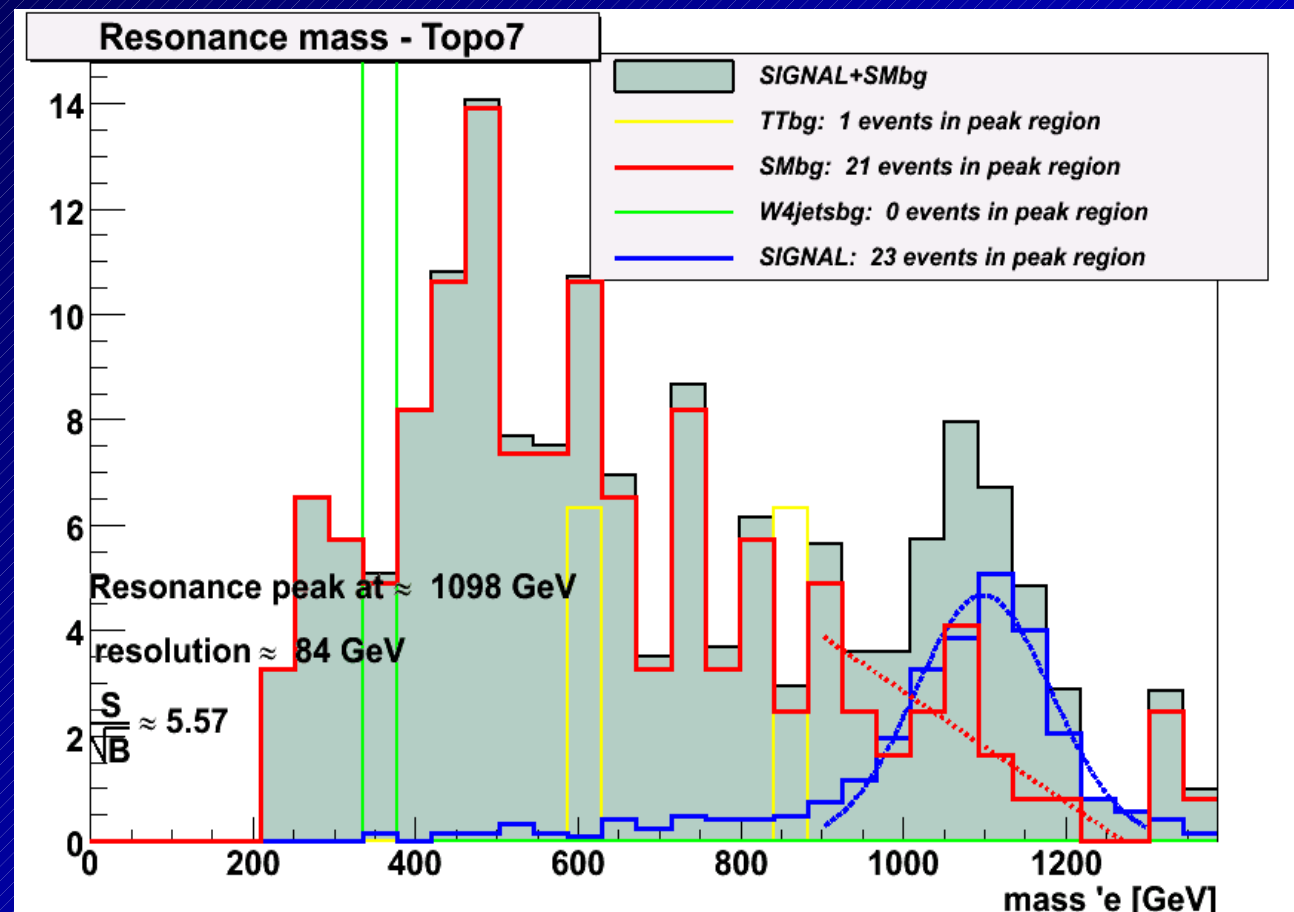
Analyse

Coupures essentielles :

- 2 Jets avants
- Central jet veto
- Lepton Id
- Coupure sur Masse W/Z
- Coupure sur la Résonnance
- (Et manquante)

En blanc coupures impliquant les jets

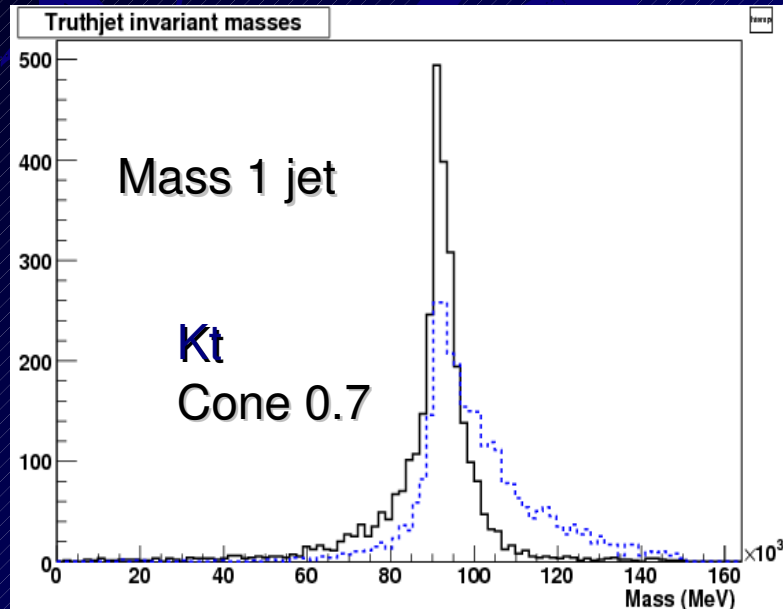
Résultat préliminaire :



Les jets dans la diffusion WZ

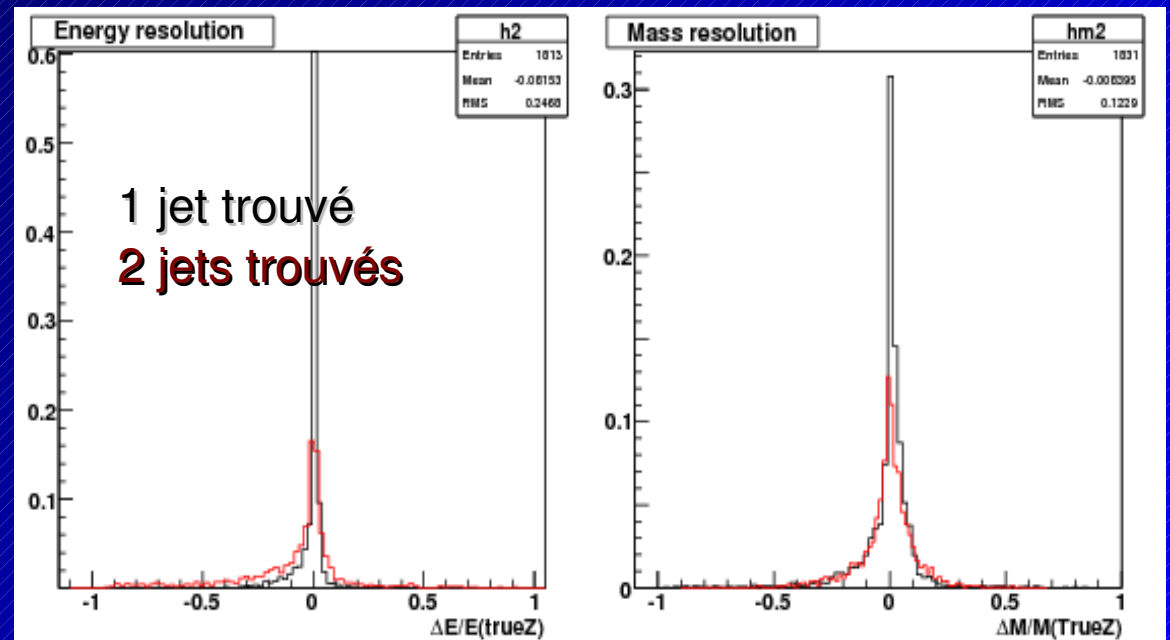
Les bosons vecteurs sont très énergétiques :
Désintégrations très collimatée
Les jets se mélangent

Au niveau hadronique ~60 % des W/Z se désintègrent en 1 seul jet...



Environ 20% des événements
sont au-delà de 5% de l'énergie
attendue...

comparaison jets de particules avec
boson généré



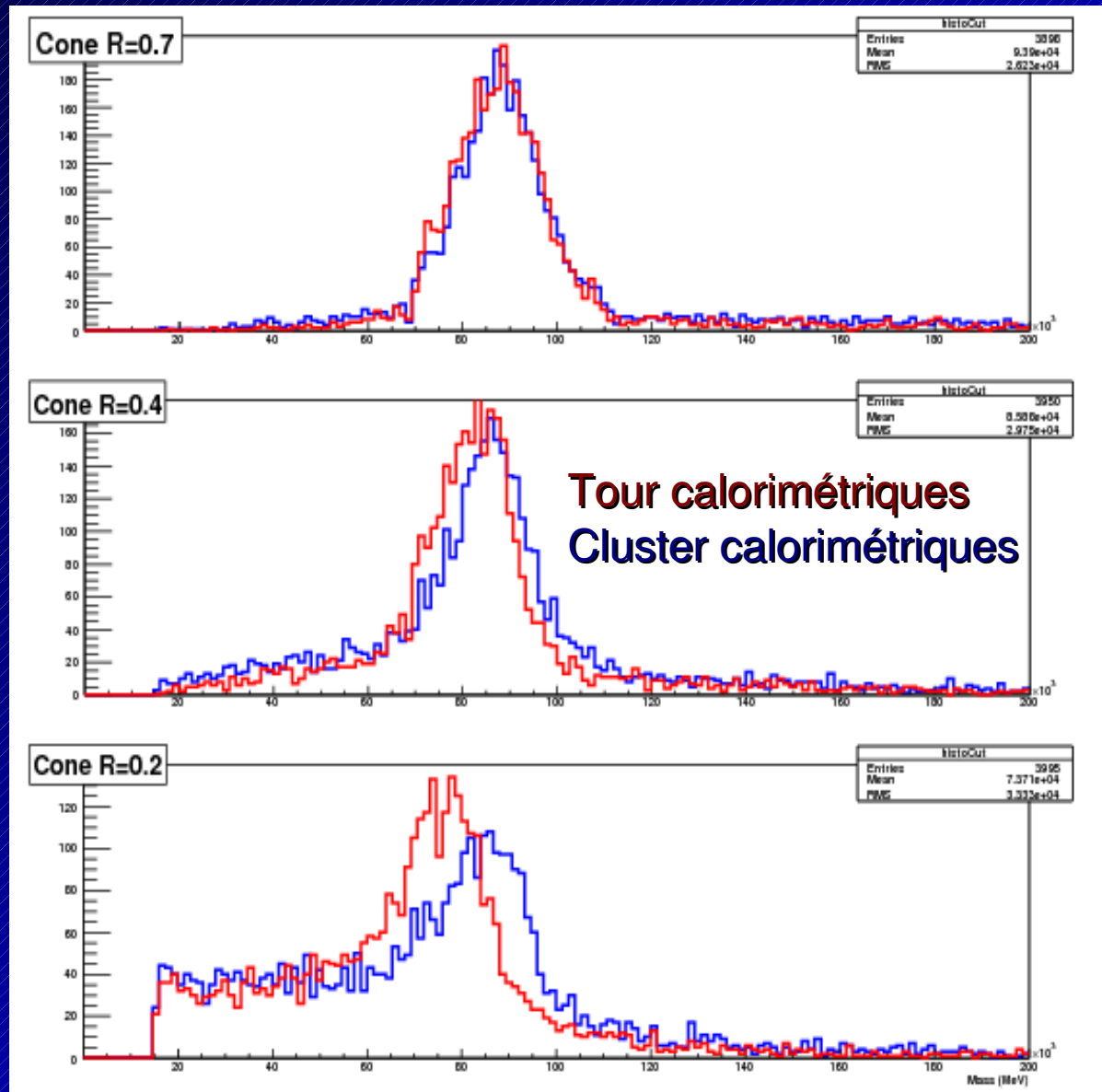
Les jets au niveau reconstruit

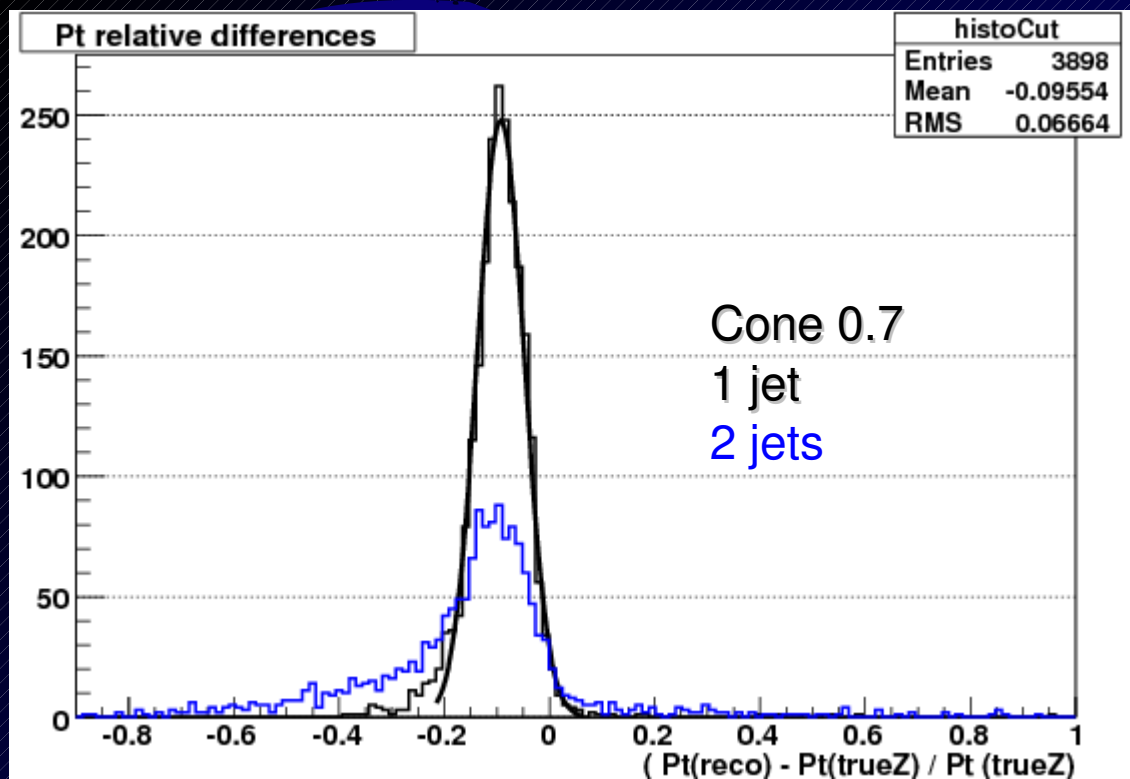
Comparaison de cône-jets
pour différent rayons

~55% des événements avec 1 seul
jet pour $R=0.7$

~25% des événements avec 1 seul
jet pour $R=0.2$

Jets reconstruits et calibrés de
manière globale (H1-Style)

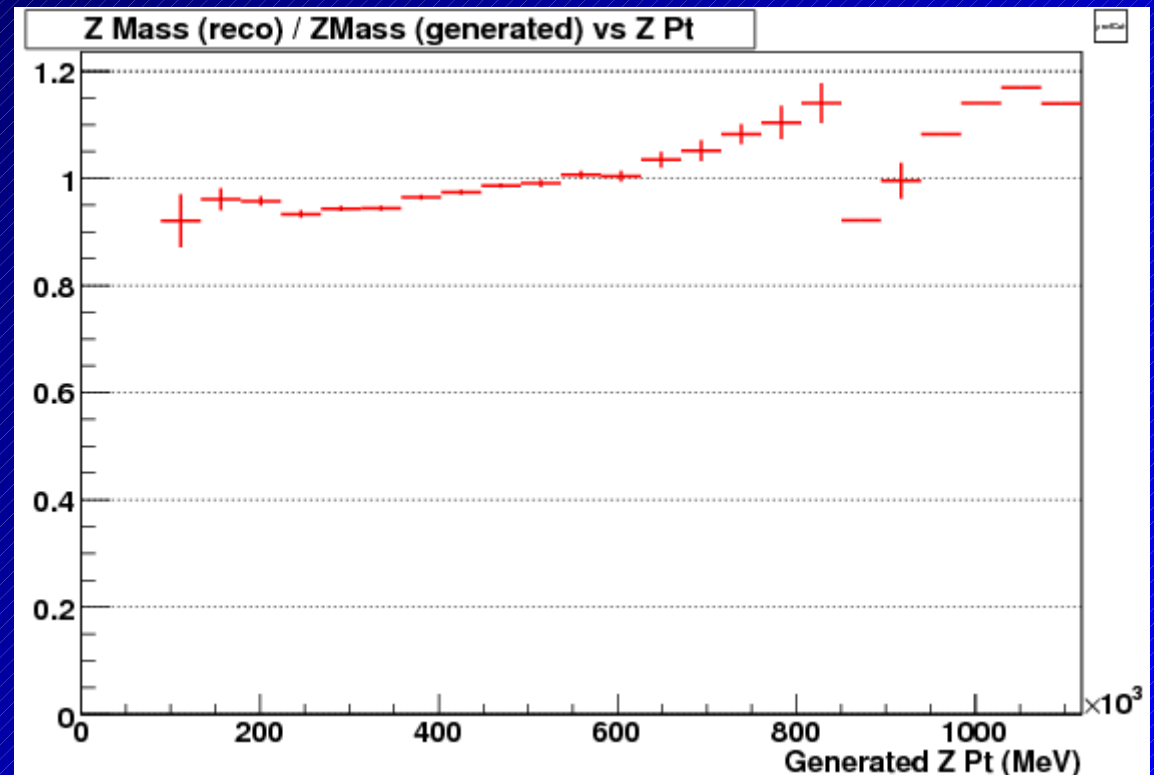




- En moyenne l'énergie reconstruite est < de 10% à l'énergie générée
- Masse correcte mais mauvaise résolution

Rapport masse reconstruite
sur masse générée
dépendant de l'énergie !!

Un facteur de correction global
n'améliorera pas les choses !



Quelles Solutions ?

Mauvaise calibration des jets à un fort impact sur l'analyse :

- coupure sur la masse du V
facteur 2 en rapport signal/bruit en réduisant la fenêtre...
- coupure sur la résonance
idem...
- Pour distinguer les modèles une bonne résolution est nécessaire

Solutions :

- Utilisation de la calibration locale + calibration spécifique
- Exploration de la structure des jets
 profils radiaux
 sous-jets
- Utilisation des 'moments' des jets ou des clusters constituents

Conclusions

Effervescence dans le travail des jets dans ATLAS:

- L'architecture logicielle est terminée. Très souple et très efficace
- Test et validation de nouveaux algorithmes
- Travail de calibration intense :
 - Calibration locale
 - Préparation de calibration in-situ
- Études de physiques

Dans le processus de diffusion WZ les jets ont un rôle crucial

- Jets très particuliers, très énergétiques
- La calibration actuelle y est insuffisante

Probablement problèmes similaires pour d'autres études...

Conclusions

Effervescence dans le travail des jets dans ATLAS:

- L'architecture logicielle est terminée. Très souple et très efficace
- Test et validation de nouveaux algorithmes
- Travail de calibration intense :
 - Calibration locale
 - Préparation de calibration in-situ
- Études de physiques

Dans le processus de diffusion WZ les jets ont un rôle crucial

- Jets très particuliers, très énergétiques
- La calibration actuelle y est insuffisante

Probablement problèmes similaires pour d'autres études...

Atteindre les objectifs de performance de la collaboration va être difficile, **mais** les outils sont présents et beaucoup de travail est produit ... : nous y arriverons !

