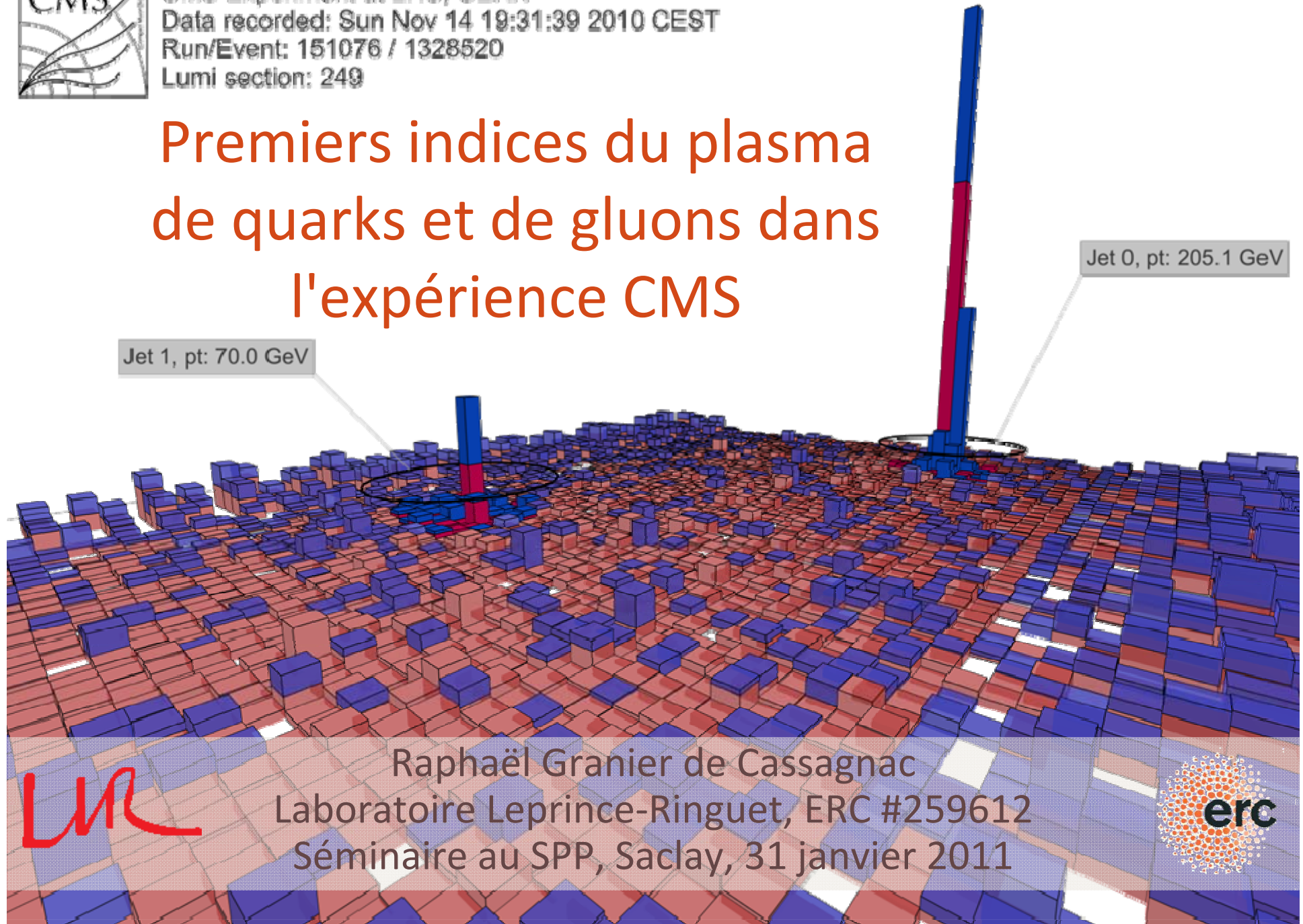




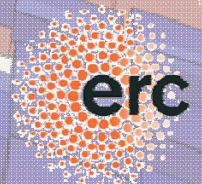
CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Sun Nov 14 19:31:39 2010 CEST
Run/Event: 151076 / 1328520
Lumi section: 249

Premiers indices du plasma de quarks et de gluons dans l'expérience CMS



LM

Raphaël Granier de Cassagnac
Laboratoire Leprince-Ringuet, ERC #259612
Séminaire au SPP, Saclay, 31 janvier 2011



Au sommaire

- Introduction
- Résultats
 1. Les corrélations à longue portée en p+p
 - J. High Energy Phys. 09 (2010) 091
(<http://arxiv.org/abs/1009.4122>)
 2. Le « jet quenching » en Pb+Pb
 - Ed. Wenger, Séminaire FNAL, 28 janvier 2011
 3. Le spectre dimuons en Pb+Pb
 - Analyses en cours

Le plasma de quarks et de gluons et CMS

INTRODUCTION

Le plasma de quarks et de gluons

- Déconfinement des hadrons → soupe de quarks et de gluons libres
 - Premières microsecondes après le big-bang
 - QCD sur réseau : $T > 180 \text{ MeV}$, $\epsilon > 1 \text{ GeV/fm}^3$
→ Collisions d'ions lourds
- Premiers indices au SPS (CERN)
 - Suppression des J/ψ
- Extensivement produit et étudié à RHIC (Brookhaven, New-York, 2000 à nos jours à $\sqrt{s_{NN}} = 200 \text{ GeV}$)
 - Jet quenching, flot elliptique, photon thermique, J/ψ ...
- Au LHC, nouveau régime ($\sqrt{s} \times 14$) et nouvelles sondes
 - Jets, Z, Upsilon... auxquelles ATLAS et CMS sont bien préparées !

Compact Muon Solenoid

CMS Detector

Pixels
 Tracker
 ECAL
 HCAL
 Solenoid
 Steel Yoke
 Muons

SILICON TRACKER

Pixels ($100 \times 150 \mu\text{m}^2$)
 ~1m² 66M channels
 Microstrips (50-100 μm)
 ~210m² 9.6M channels

CRYSTAL ELECTROMAGNETIC CALORIMETER (ECAL)

76k scintillating PbWO₄ crystals

PRESHOWER

Silicon strips
 ~16m² 137k channels

CASTOR CALORIMETER

Tungsten + quartz plates

FORWARD CALORIMETER

Steel + quartz fibres

STEEL RETURN YOKE

~13000 tonnes

ZERO-DEGREE CALORIMETER

SUPERCONDUCTING SOLENOID

Niobium-titanium coil carrying ~18000 A

HADRON CALORIMETER (HCAL)

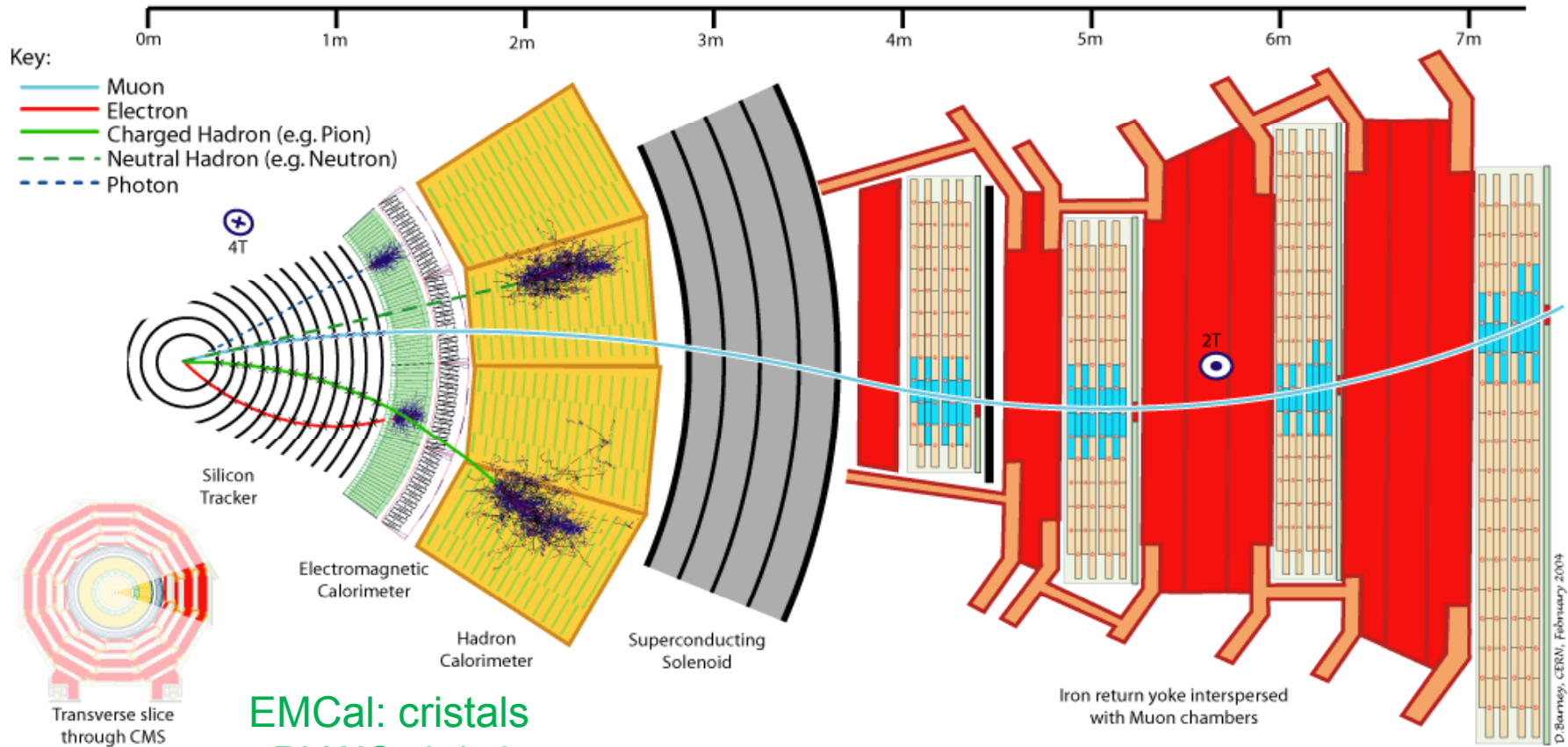
Brass + plastic scintillator

MUON CHAMBERS

Barrel: 250 Drift Tube & 500 Resistive Plate Chambers
 Endcaps: 450 Cathode Strip & 400 Resistive Plate Chambers

Total weight : 14000 tonnes
 Overall diameter : 15.0 m
 Overall length : 28.7 m
 Magnetic field : 3.8 T

Détection des particules ($|\eta| < 2,4$)



EMCal: cristals
 PbWO_4 $|\eta| < 3$

Muon: drift tubes + RPC $|\eta| < 2.4$

Silicium: pixels (3)
 and strips (10) $|\eta| < 2.4$

HCal: Scintillation
 $|\eta| < 5$

+ Higher pseudo-rapidity
 calorimetry extension

Quelques caractéristiques utiles

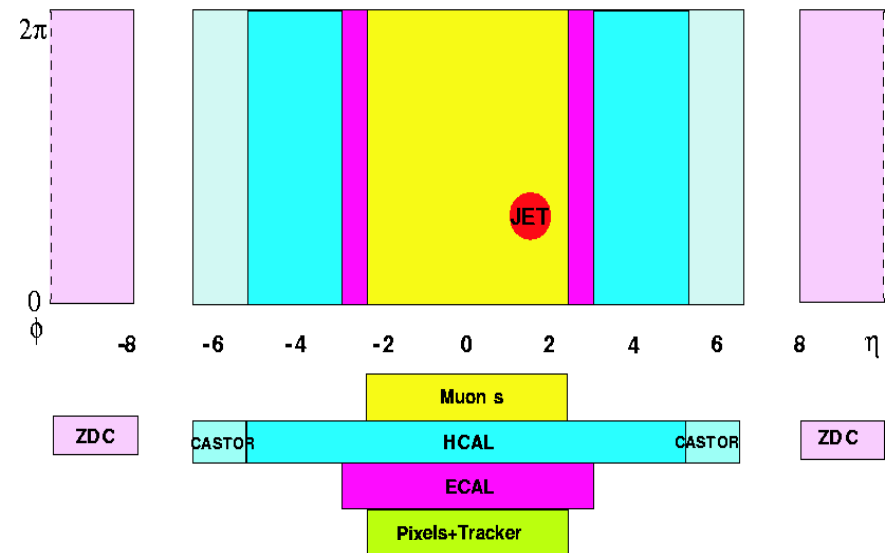
2. Fort champ magnétique

- 3,8 Teslas

3. Large bande passante

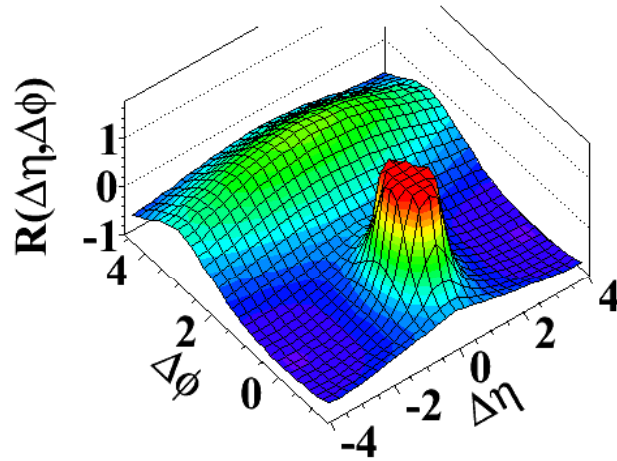
- Niveau 1 = Toutes Pb-Pb collisions (≈ 5 kHz)
- Trigger de haut niveau (HLT) $\rightarrow \approx 100$ Hz

1. Grande couverture angulaire

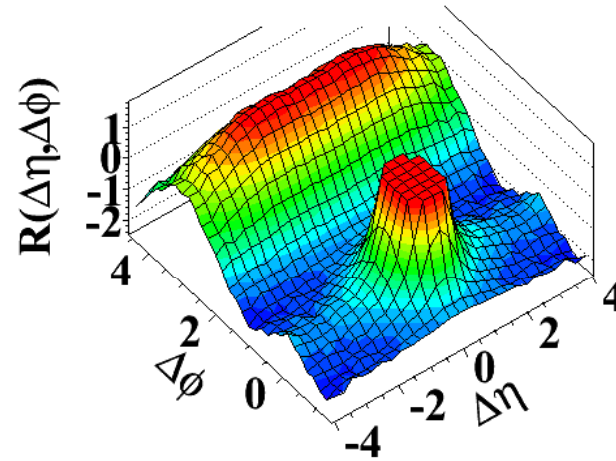


\rightarrow Grande acceptance, en particulier à grand p_T

(b) MinBias, $1.0\text{GeV}/c < p_T < 3.0\text{GeV}/c$



(d) $N > 110$, $1.0\text{GeV}/c < p_T < 3.0\text{GeV}/c$



Séminaire CERN de Gunther Roland, le 21 septembre

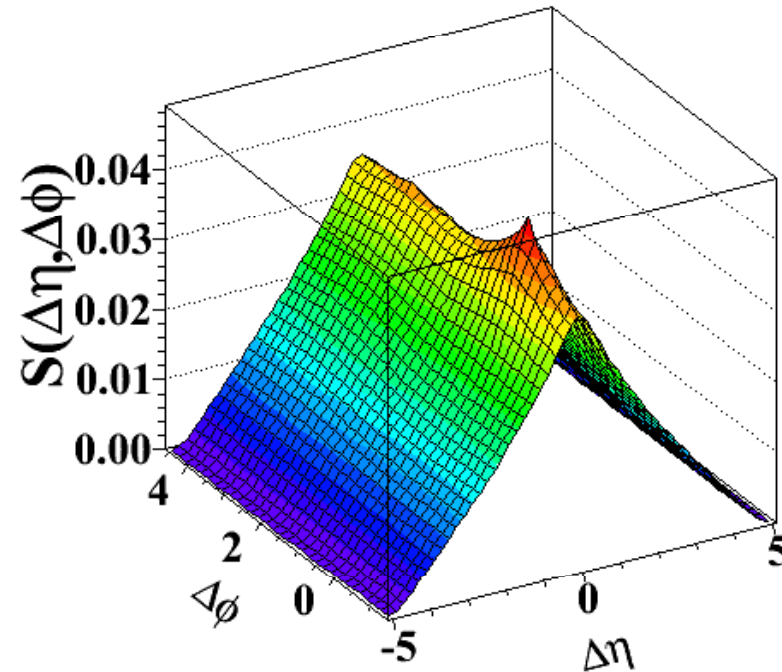
J. High Energy Phys. 09 (2010) 091 (<http://arxiv.org/abs/1009.4122>)

Communiqué de presse (<http://cms.web.cern.ch/cms/News/2010/QCD-10-002/index.html>)

1. CORRÉLATIONS À LONGUE PORTÉE EN PROTON+PROTON

Le signal

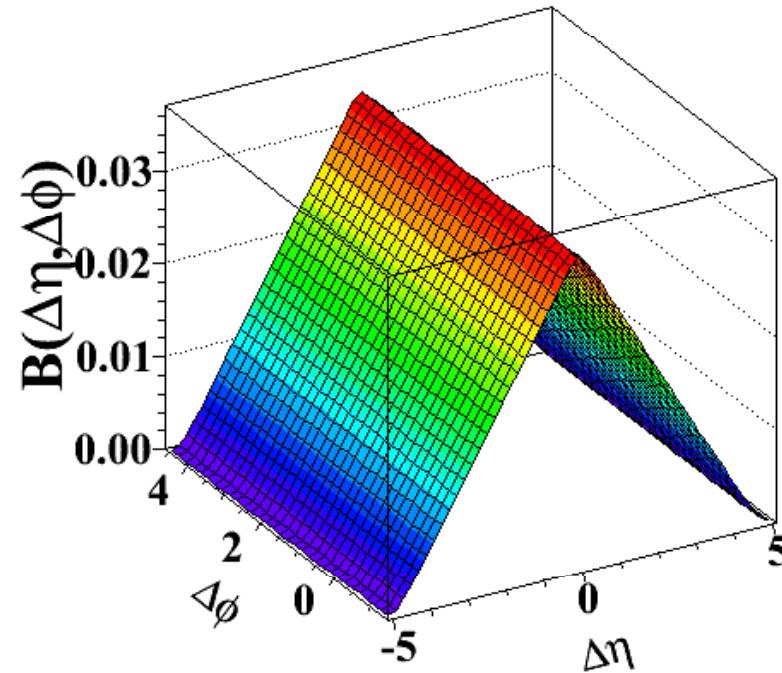
- Idée : regarder la corrélation des particules dans tout l'espace des phases
 - $\Delta\eta = \eta_1 - \eta_2$
 - $\eta = -\ln(\tan \theta/2)$
 - $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2$
- Dans chaque événement de multiplicité N
 - Toute paire de particules
 - Normalisé au nombre de paires



$$S_N(\Delta\eta, \Delta\phi) = \frac{1}{N(N-1)} \frac{d^2 N^{\text{signal}}}{d\Delta\eta d\Delta\phi}$$

Le fond combinatoire

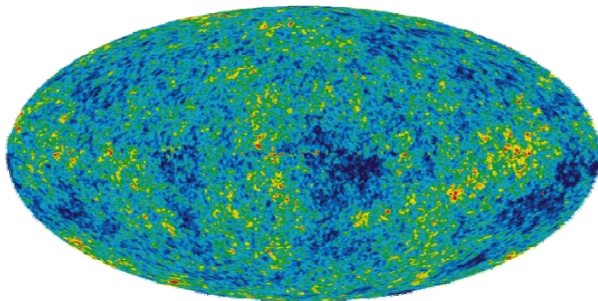
- Événements différents de même multiplicité N
 - Reflet de l'acceptance



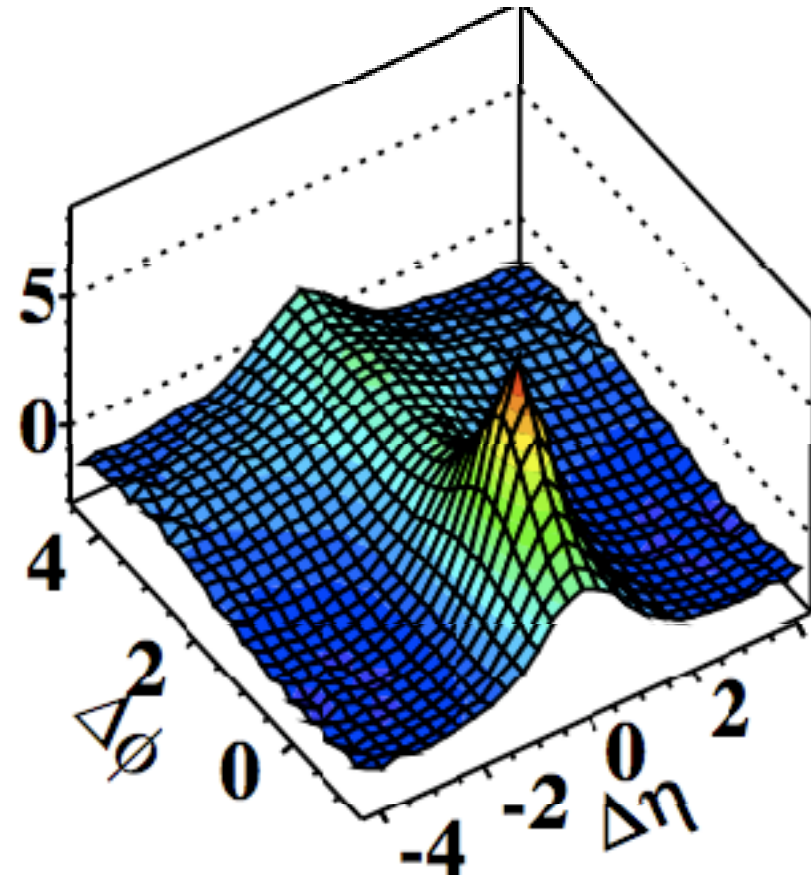
$$B_N(\Delta\eta, \Delta\phi) = \frac{1}{N^2} \frac{d^2 N^{\text{mixed}}}{d\Delta\eta d\Delta\phi}$$

La fonction de corrélation R

- Signal / Bruit – 1
 - Resommer et pondérer par la multiplicité
- « Cartographie » des collisions
 - Longue portée = temps courts

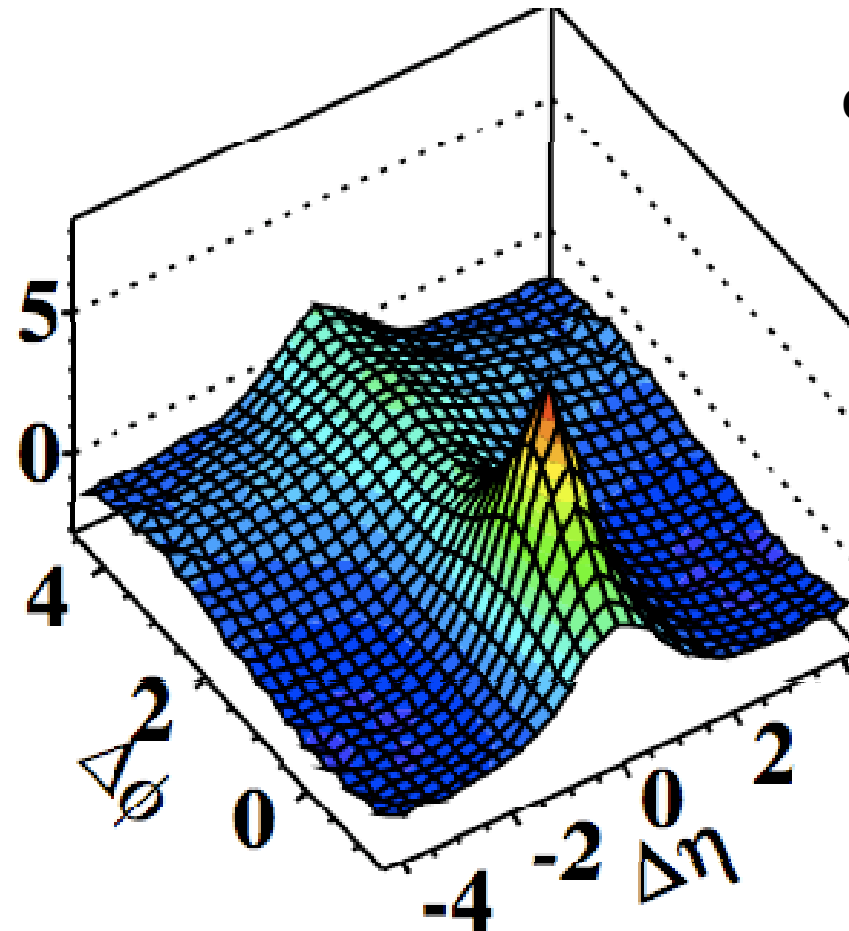


Le ciel vu par wmap



$$R(\Delta\eta, \Delta\phi) = \left\langle \left(\langle N \rangle - 1 \right) \left(\frac{S_N(\Delta\eta, \Delta\phi)}{B_N(\Delta\eta, \Delta\phi)} - 1 \right) \right\rangle_{bins}$$

Corrélations angulaires (0/4)

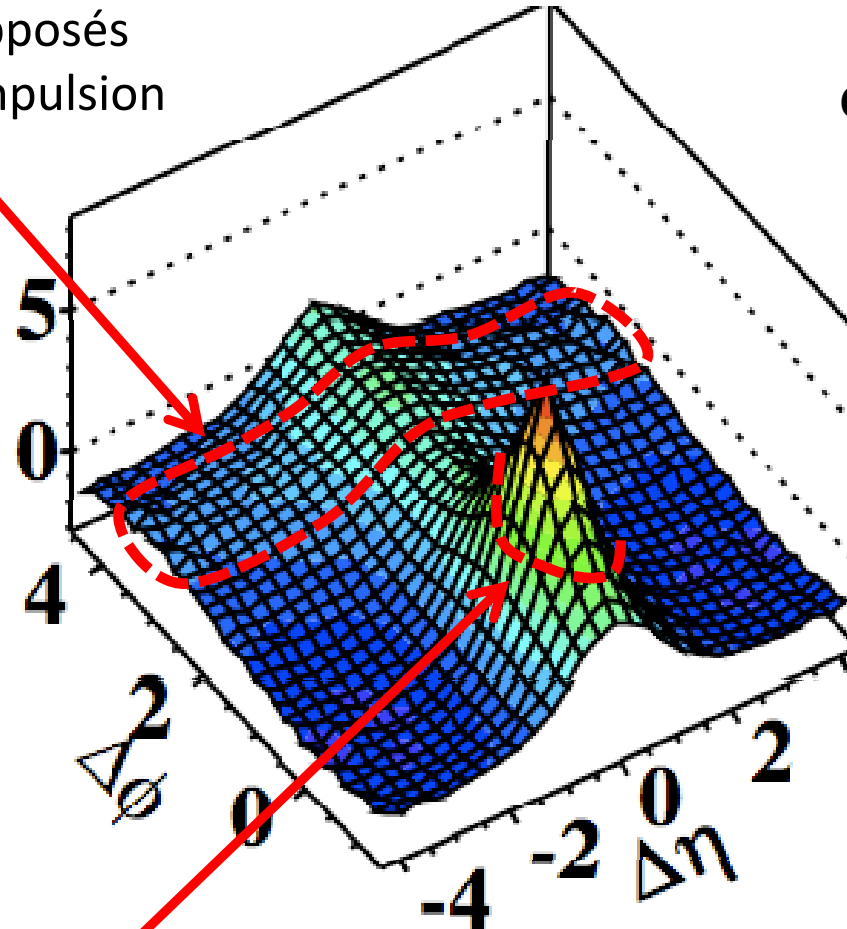


CMS 7 TeV pp min bias
 $p_T > 0,1 \text{ GeV}/c$

Corrélations angulaires (1/4)

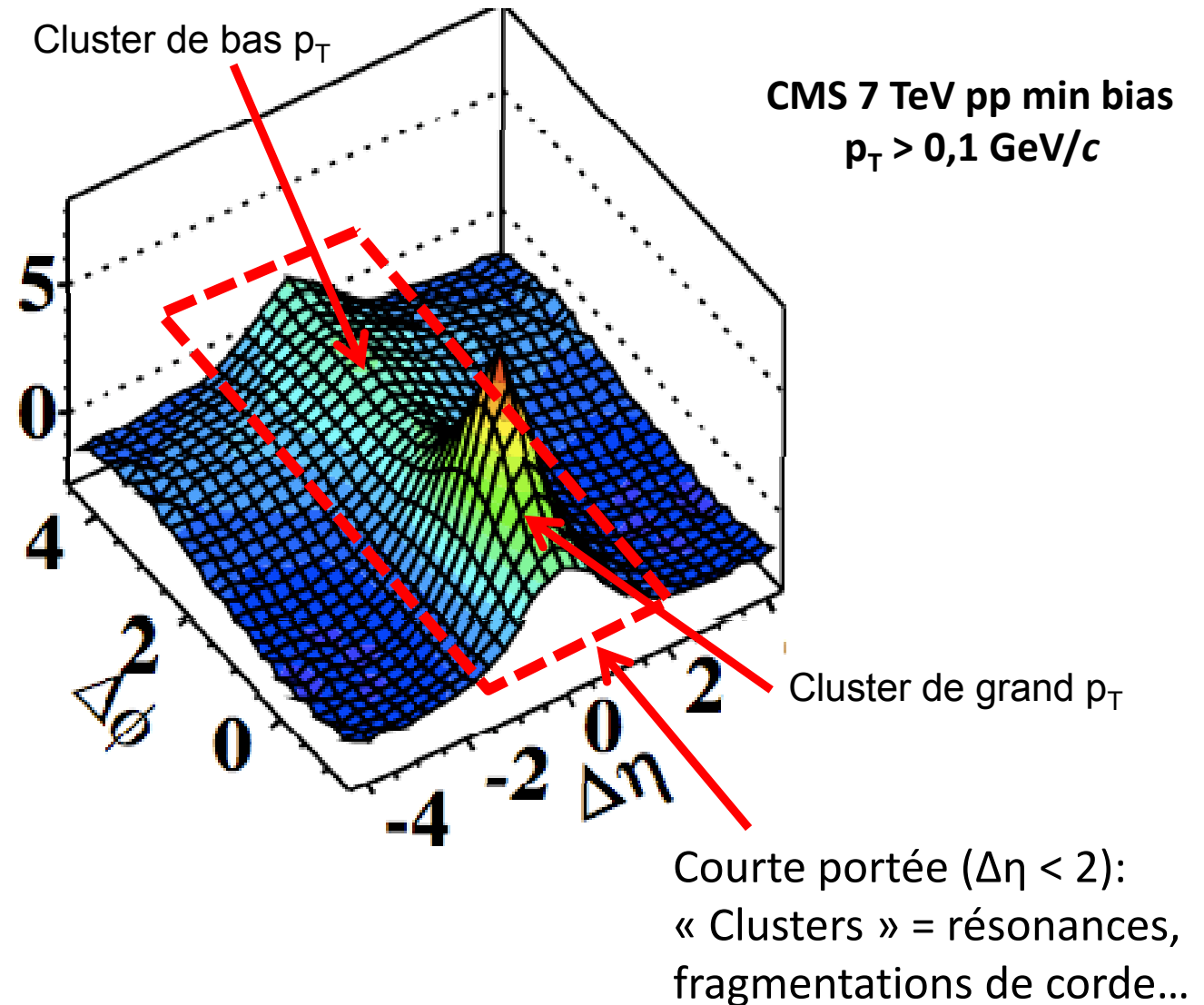
Particules de jets opposés
 \approx conservation de l'impulsion
($\Delta\phi \approx \pi$)

CMS 7 TeV pp min bias
 $p_T > 0,1 \text{ GeV}/c$

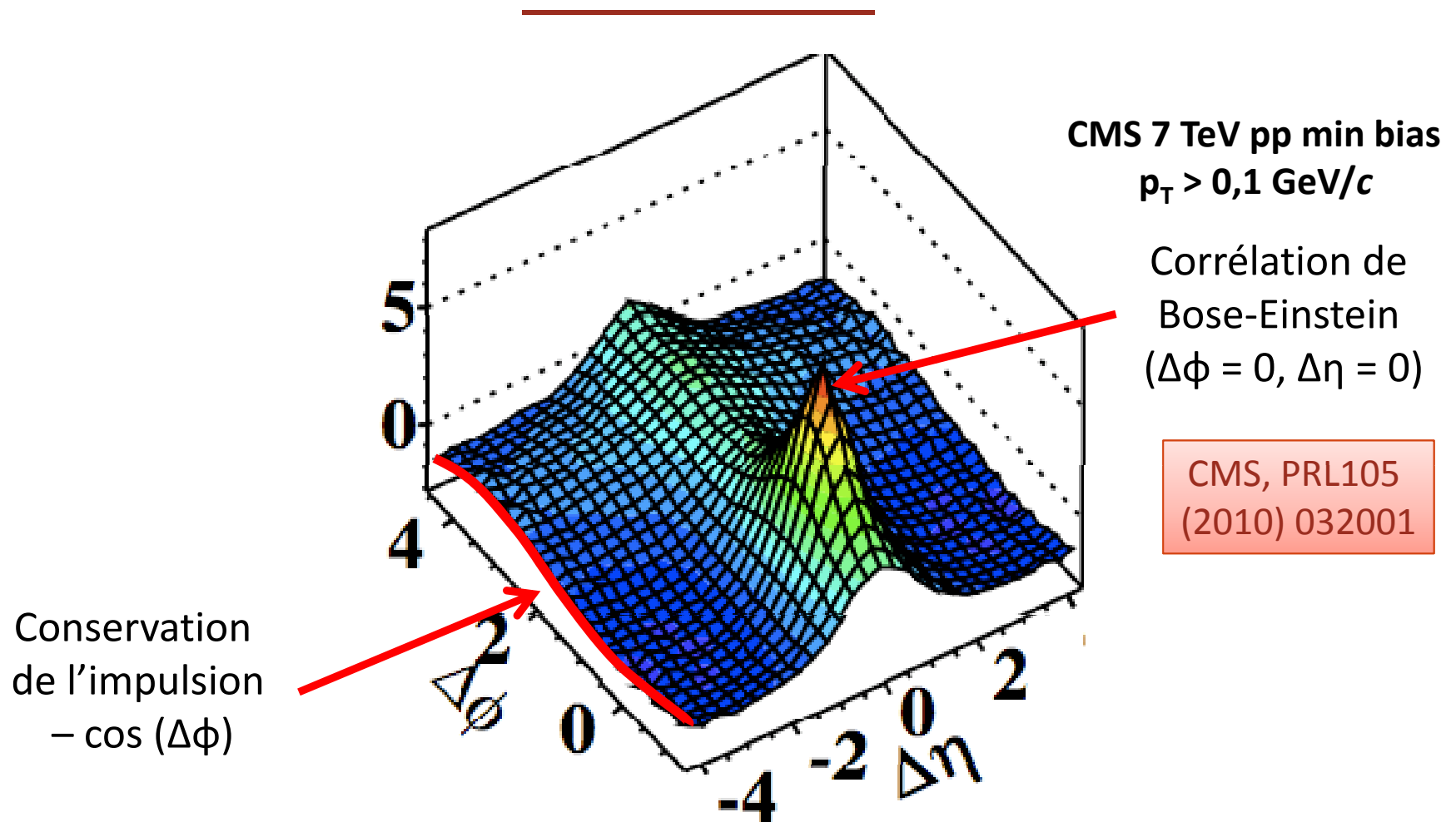


Particules d'un même jet
($\Delta\phi \approx 0, \Delta\eta \approx 0$)

Corrélations angulaires (2/4)



Corrélations angulaires (3/4)



Corrélations angulaires (4/4)

Particules de jets opposés
 \approx conservation de l'impulsion
($\Delta\phi \approx \pi$)

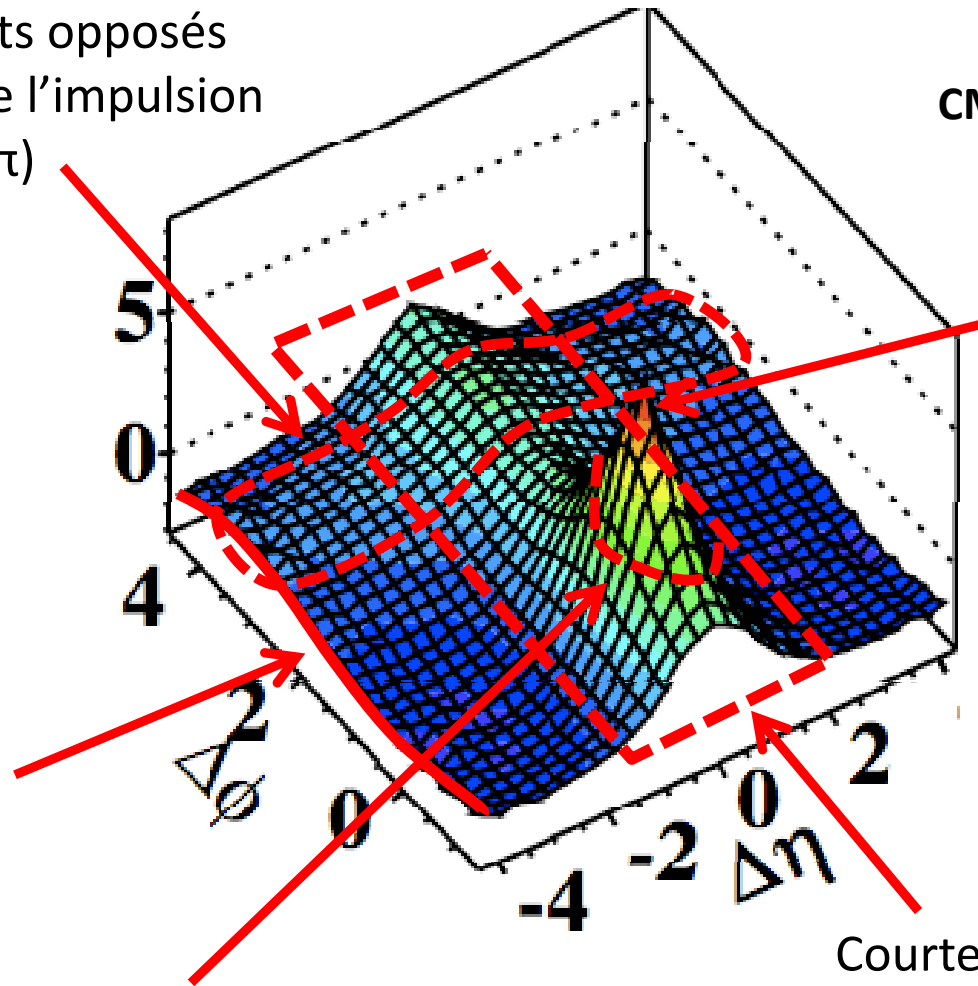
CMS 7 TeV pp min bias
 $p_T > 0,1 \text{ GeV}/c$

Corrélation de
Bose-Einstein
($\Delta\phi = 0, \Delta\eta = 0$)

Conservation
de l'impulsion
 $-\cos(\Delta\phi)$

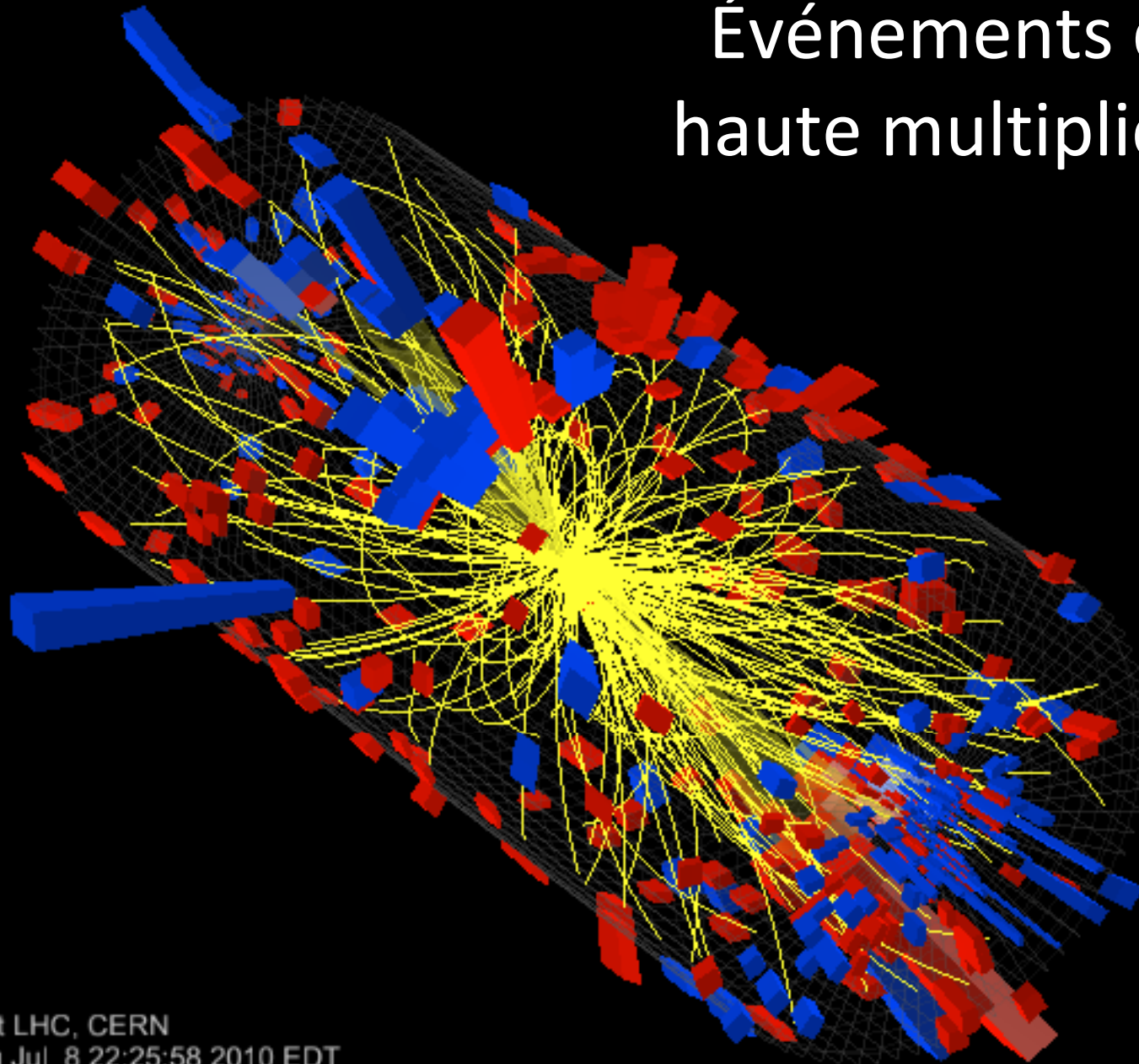
Particules d'un même jet
($\Delta\phi \approx 0, \Delta\eta \approx 0$)

Courte portée ($\Delta\eta < 2$):
« Clusters » = résonances,
fragmentations de corde...



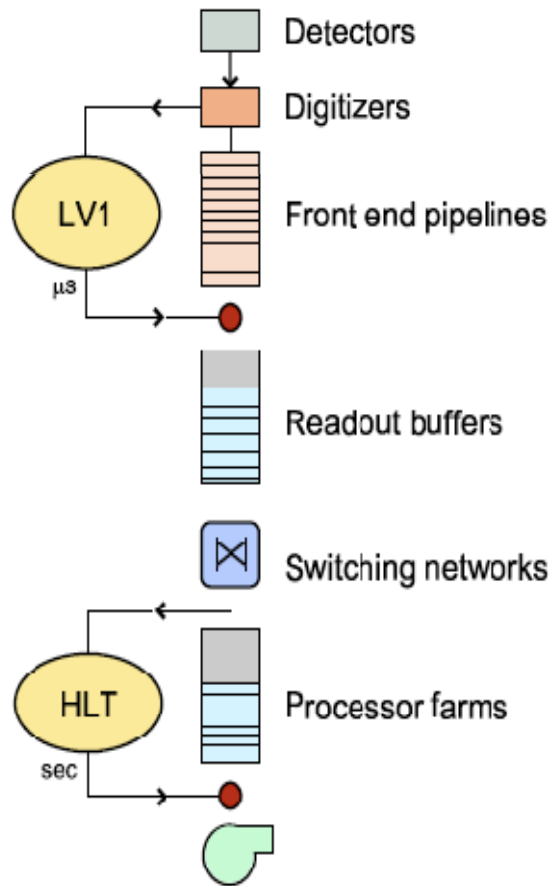


Événements de haute multiplicité

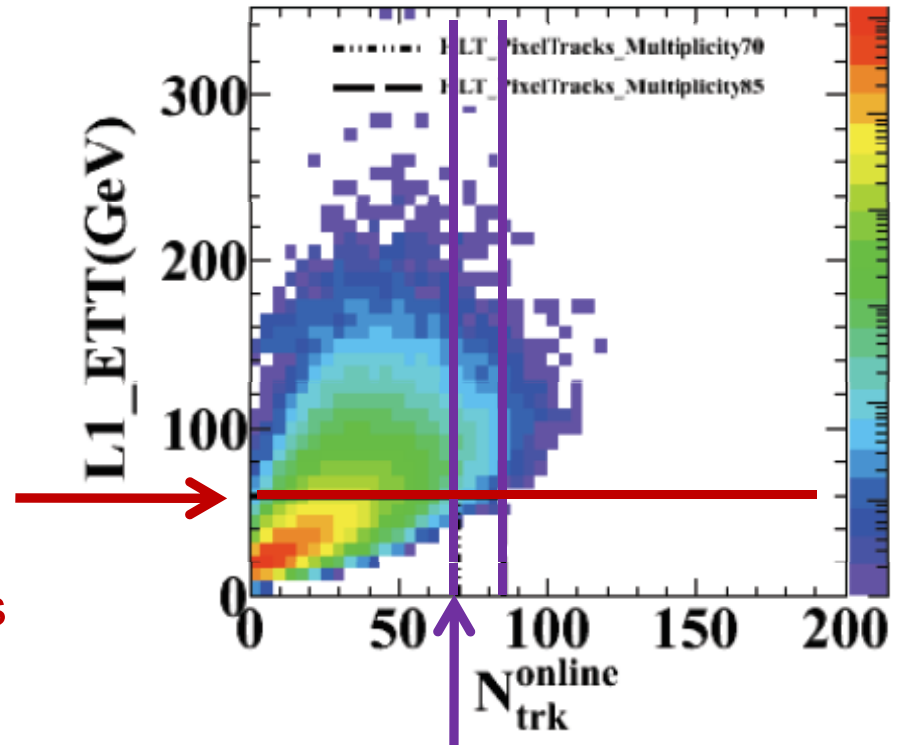


CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Thu Jul 8 22:25:58 2010 EDT
Run/Event: 139779 / 4994190
Lumi section: 5
Orbit/Crossing: 1302609 / 401

Déclenchement dédié



Au niveau 1
 $E_T > 60 \text{ GeV}$
dans les calos



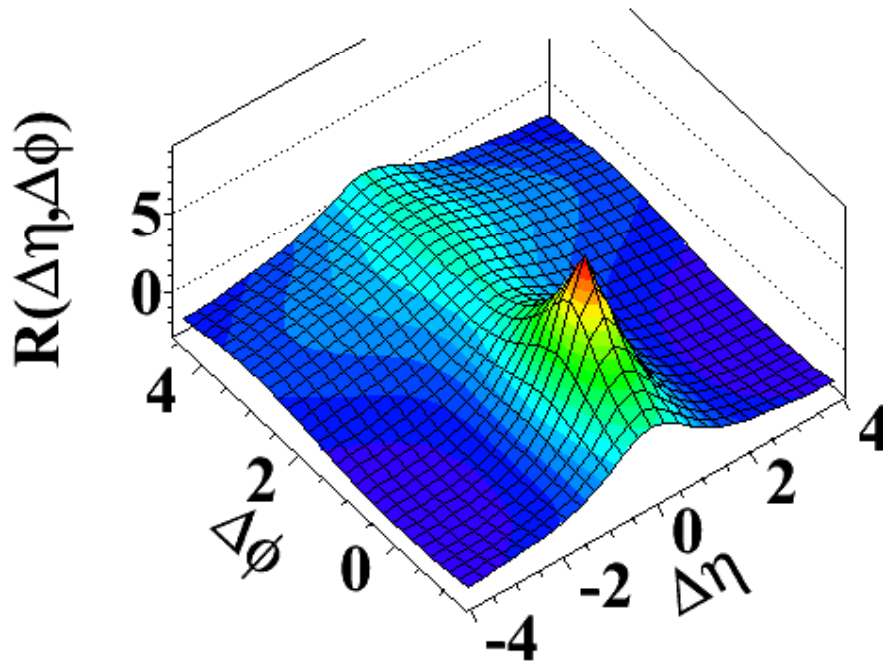
Au trigger de haut niveau (HLT)
Nombre de traces de $p_T > 0,4 \text{ GeV}/c$, $|\eta| < 2$,
dans $dz < 0,12 \text{ cm}$ d'un unique vertex de $z < 10 \text{ cm}$

Résultats pour tout p_T

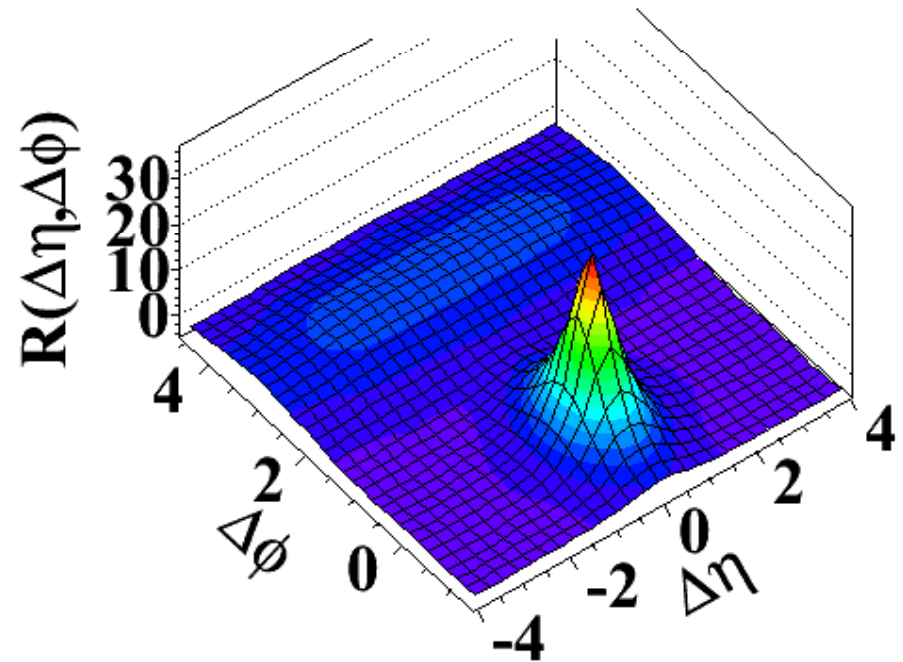
Biais minimum

Haute multiplicité ($N > 110$)

(a) MinBias, $p_T > 0.1 \text{ GeV}/c$



(c) $N > 110$, $p_T > 0.1 \text{ GeV}/c$



Davantage de jets à haute multiplicité ($\Delta\phi \approx 0$)

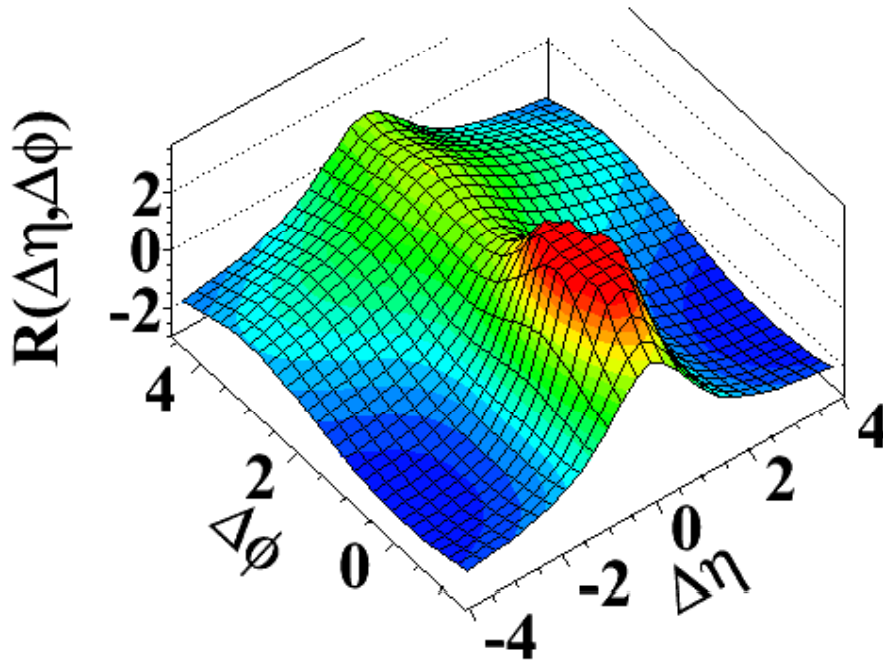
Résultats pour tout p_T

Même figures
coupées en z

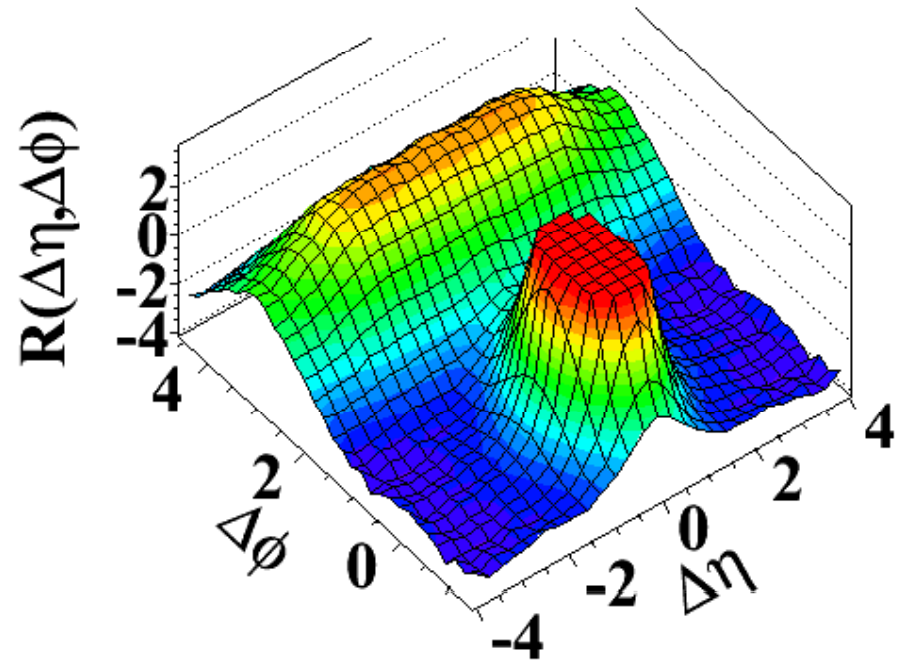
Biais minimum

Haute multiplicité ($N > 110$)

(a) MinBias, $p_T > 0.1 \text{ GeV}/c$



(c) $N > 110$, $p_T > 0.1 \text{ GeV}/c$



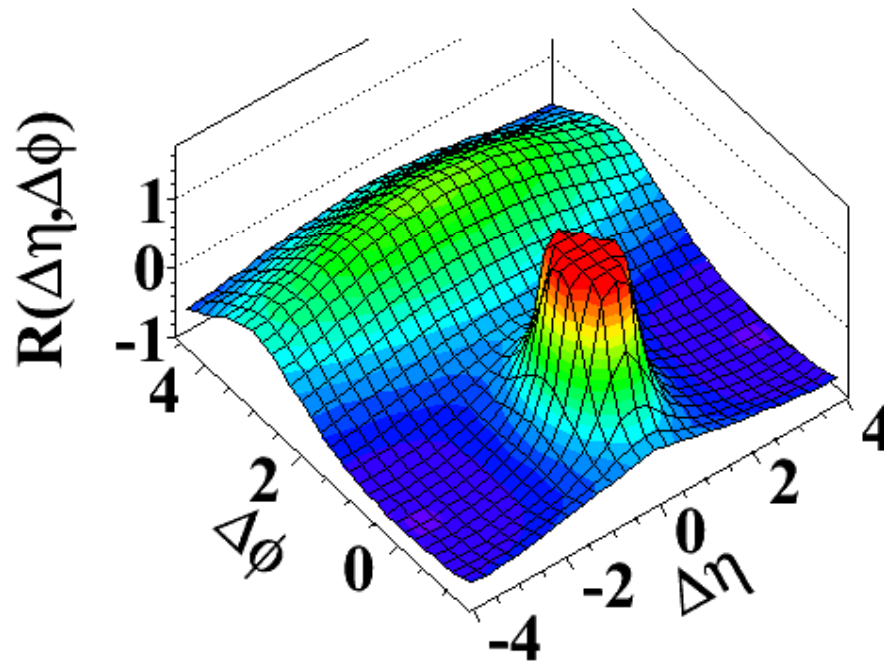
Davantage de jets à haute multiplicité ($\Delta\phi \approx \pi$)

Résultats pour $p_T = 1-3 \text{ GeV}/c$

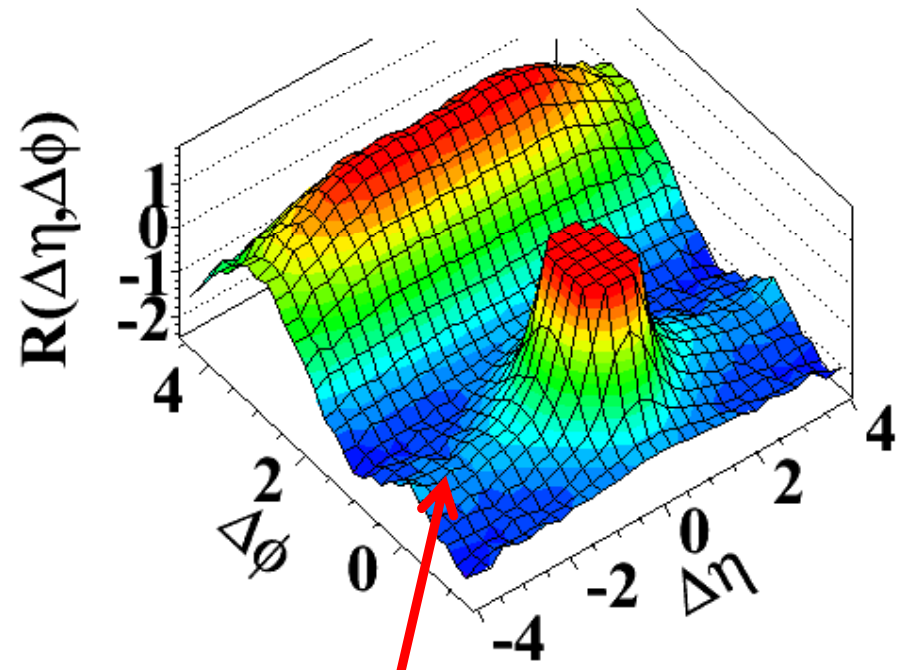
Biais minimum

Haute multiplicité ($N > 110$)

(b) MinBias, $1.0 \text{ GeV}/c < p_T < 3.0 \text{ GeV}/c$



(d) $N > 110$, $1.0 \text{ GeV}/c < p_T < 3.0 \text{ GeV}/c$

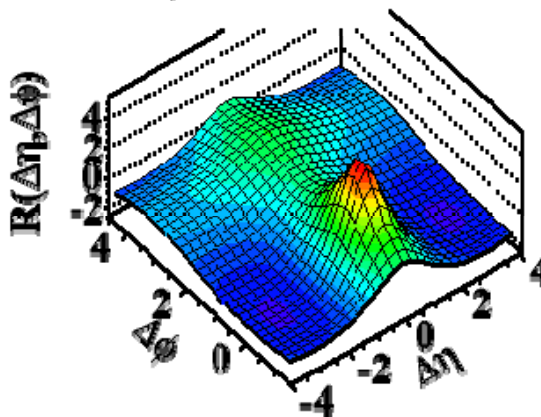


Une nouvelle structure à $\Delta\phi \approx 0$ et large $\Delta\eta$
dans le paysage, une « crête » alias le « ridge »

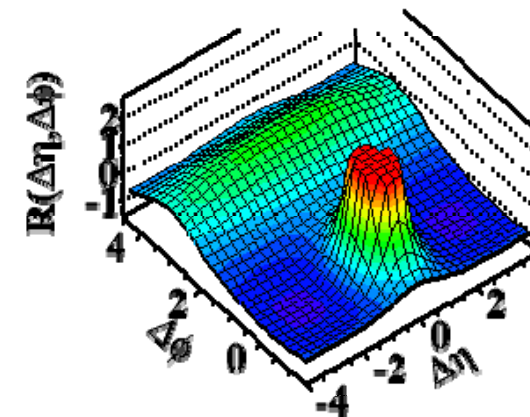
Que dit PYTHIA* ?

- Qualitativement, tout y est, sauf le « ridge »
- Idem avec d'autres générateurs
 - Herwig++, madgraph, Pythia6...

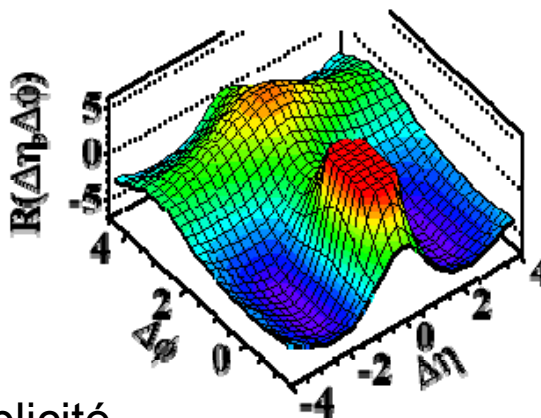
(a) MinBias, $p_T > 0.1 \text{ GeV}/c$



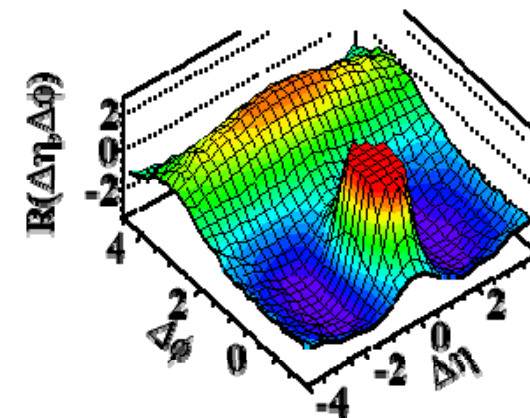
(b) MinBias, $1.0 \text{ GeV}/c < p_T < 3.0 \text{ GeV}/c$



(c) $N > 110$, $p_T > 0.1 \text{ GeV}/c$



(d) $N > 110$, $1.0 \text{ GeV}/c < p_T < 3.0 \text{ GeV}/c$



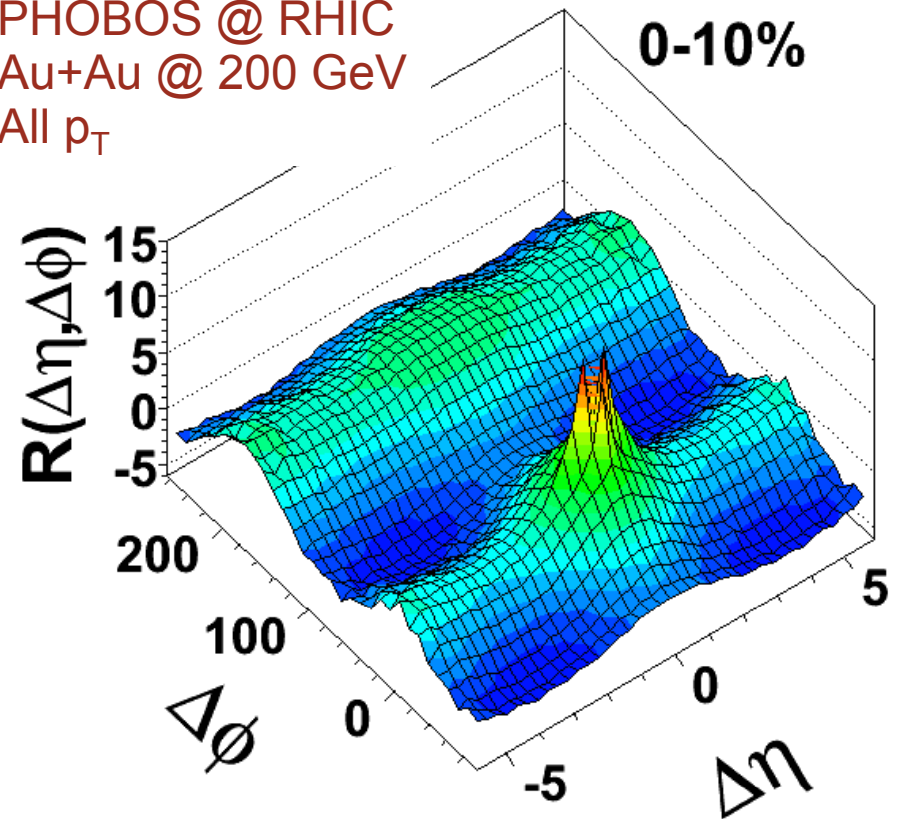
* Pythia 8, qui traite mieux la multiplicité



Déjà vu quelque part !

- Dans des collisions d'ions lourds à RHIC
 - $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV
 - Par plusieurs expériences
 - Et pas en pp, ni en dAu

PHOBOS @ RHIC
Au+Au @ 200 GeV
All p_T



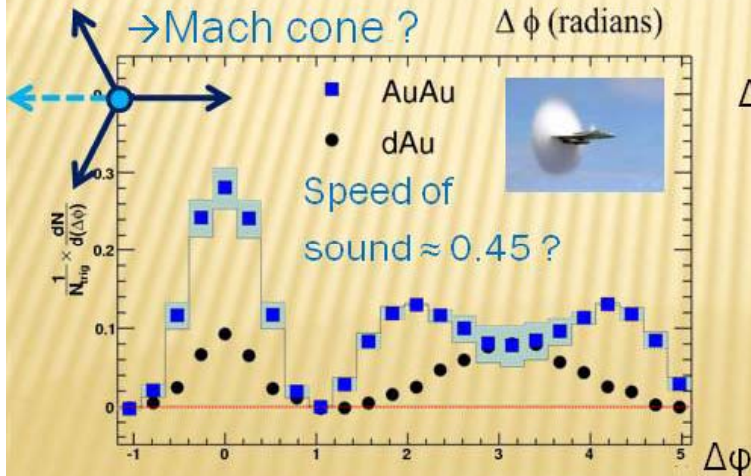
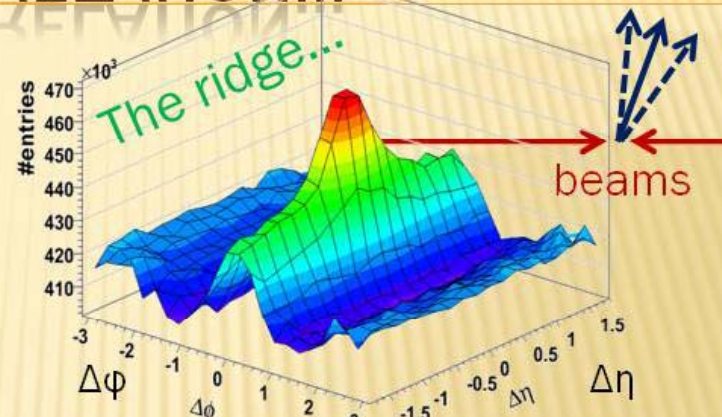
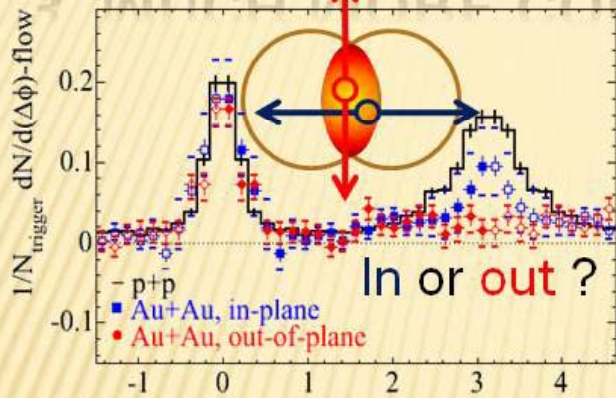
Un peu de logique

- <http://cms.web.cern.ch/cms/News/2010/QCD-10-002/index.html>
- « *Bien qu'il n'y ait pas d'explication définitive à la cause de cet effet, la structure nouvelle observée n'est pas sans rappeler des caractéristiques similaires vues dans des expériences au RHIC [...] qui furent interprétées comme dues à la présence de matière dense et chaude formée dans les collisions d'ions lourds relativistes. »*
- Tout est vrai, mais attention :
 - Pas forcément la seule interprétation
 - Pas la seule mesure qui permet de conclure à la présence d'une matière chaude et dense

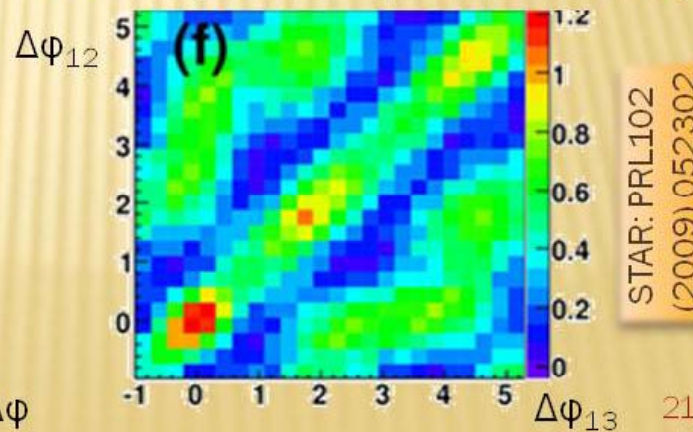
À titre d'exemple...

Here, all plots from STAR, see also PHENIX: PRC78 (2008) 014901

3. MUCH MORE CORRELATION...



→ Three particles (central Au+Au)



Extrait d'une revue sur la matière produite à RHIC, donnée en 2009 (par un orateur sans doute biaisé...)
 Le « ridge » y occupe 1/4 de diapo sur 36 !

En résumé sur ce « ridge »

- Phénomène nouveau en collisions p+p @ 7 TeV
 - Similaire à celui observé en A+A @ 200 GeV
- Au moins trois interprétations concurrentielles:
 1. Hydrodynamique, collectivité → Plasma
Effets collectifs à même multiplicité ($N \approx 100$) en Cu+Cu à RHIC
 2. État initial, saturation → Colour Glass
 3. Multi-Jets → Physique p+p standard
- Possible superposition des trois...
 - Beaucoup d'arguments jet+milieu pour RHIC
 - Le flot radial focalise les particules
- Autres observables pour discriminer...

À RHIC, principaux indices du QGP

What's the matter at RHIC? - raphael@in2p3.fr 23/04/2009

WHICH SIGNATURES?

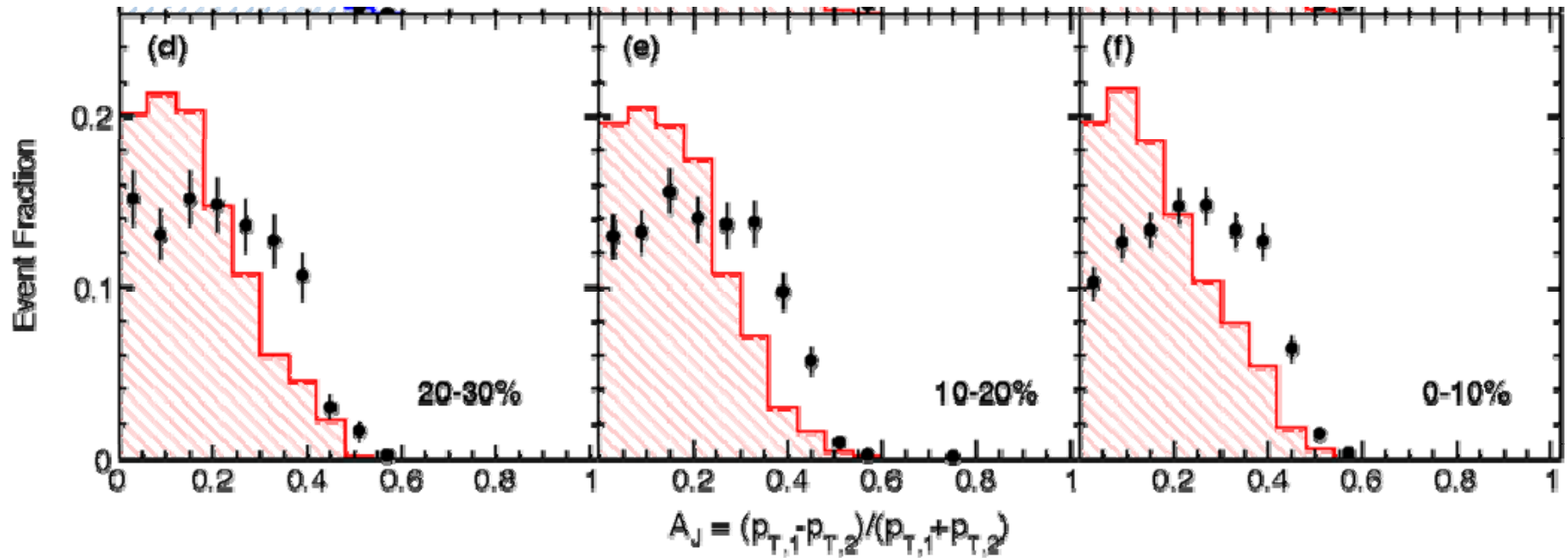
- | | | |
|---------------------------|---|------------------------------------|
| 1. Total multiplicity | } | \approx “Color Glass Condensate” |
| 2. High p_T suppression | | \approx “Jet quenching” |
| 3. Back to back jets | | |
| 4. Elliptic flow | | \approx “Perfect fluid” |
| 5. Baryon/meson | | 7. J/ψ suppression |
| 6. Heavy flavour | | 8. Thermal radiation |

But they are not the only ones!

“There was a general feeling that if the quark-gluon plasma was indeed produced, it would manifest itself in a variety of unknown but dramatic ways, including...

H. Satz @ Lattice 2000 hep-ph/0009099

7



Séminaire CERN du 10 décembre, Bolek Wyslouch

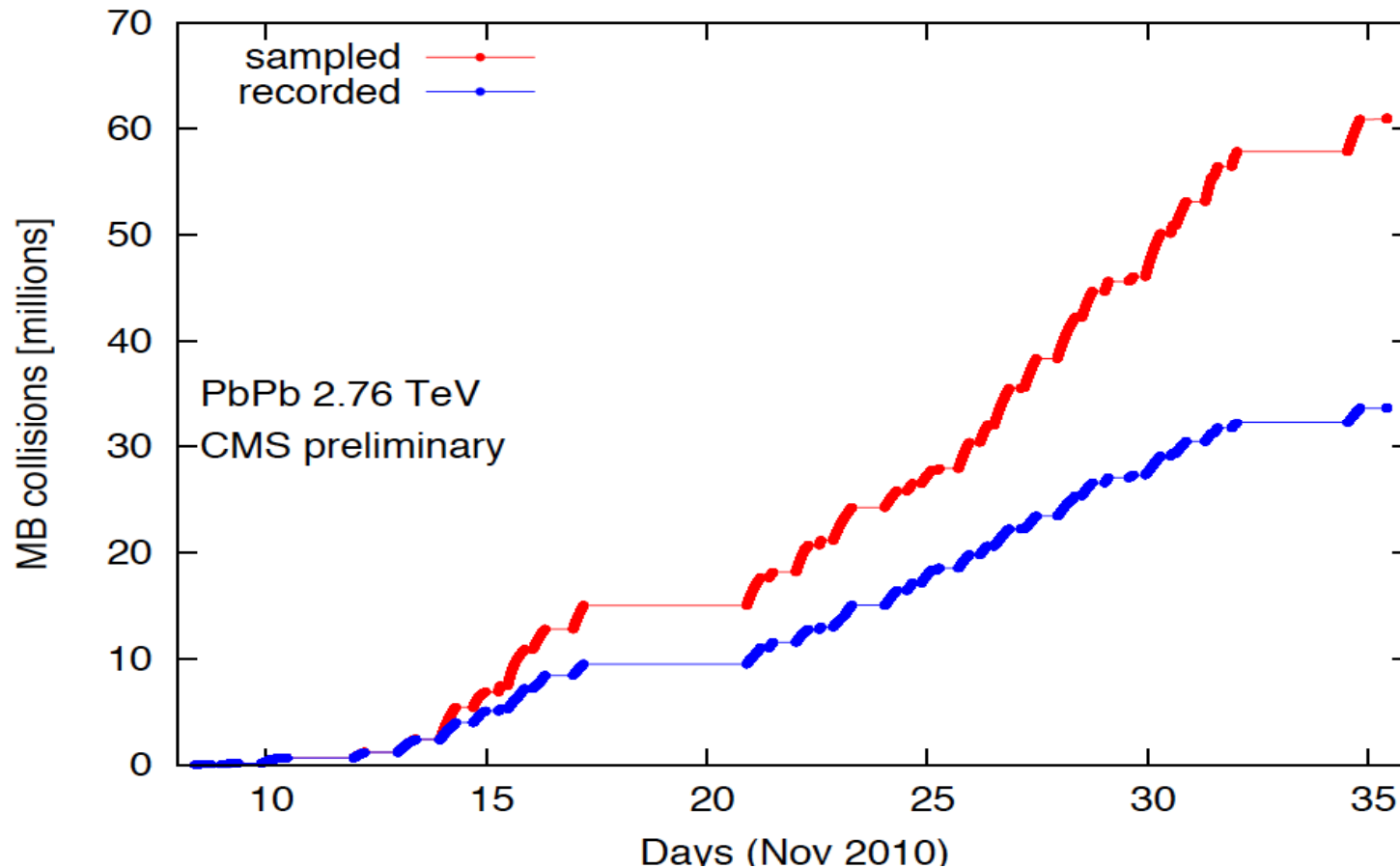
Séminaire Fermilab du 28 janvier, Ed Wenger

<http://cms.web.cern.ch/cms/News/2010/HljetQuenching26112010/>

2. LE JET QUENCHING EN PB+PB

Premières collisions Pb+Pb au LHC

- Nov-Dec 2010 : $7 \mu\text{b}^{-1}$ @ 2.76 TeV
- 210 Hz max : MinBias/2 ou 3 + HLT muons, jets...

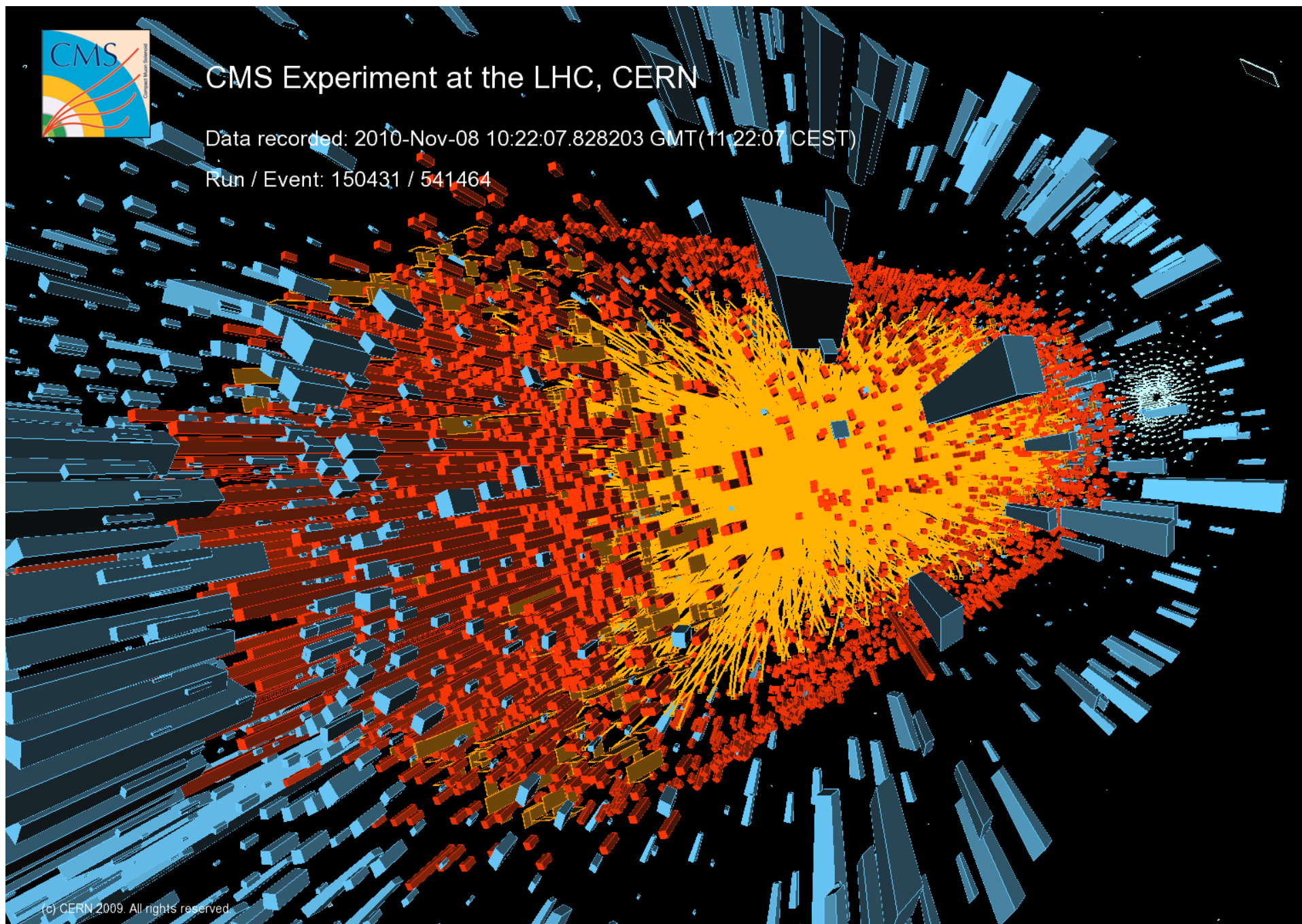




CMS Experiment at the LHC, CERN

Data recorded: 2010-Nov-08 10:22:07.828203 GMT(11:22:07 CEST)

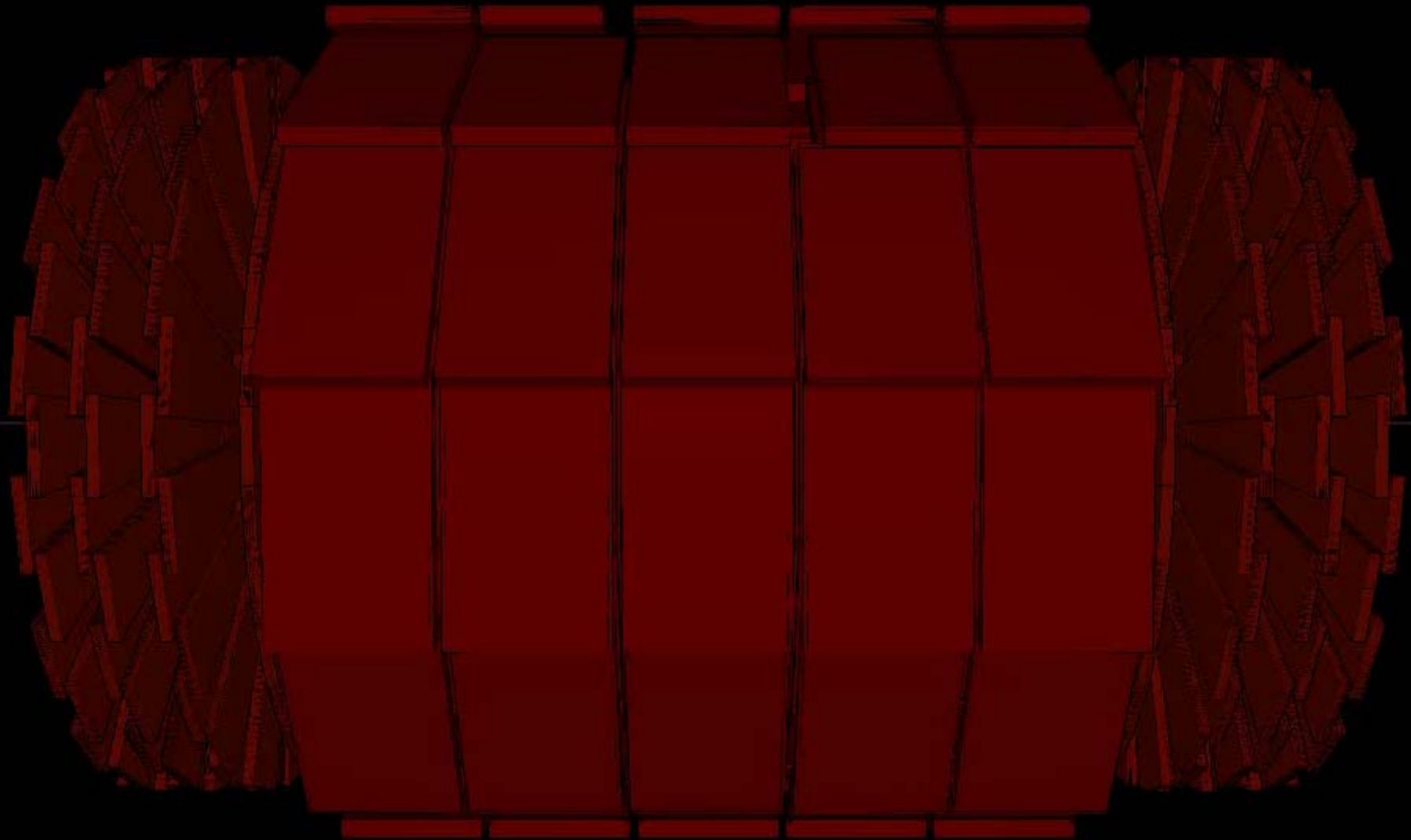
Run / Event: 150431 / 541464



(c) CERN 2009. All rights reserved.

Vraies données

CMS Experiment
Mon 2010-No
Run 15
C.O

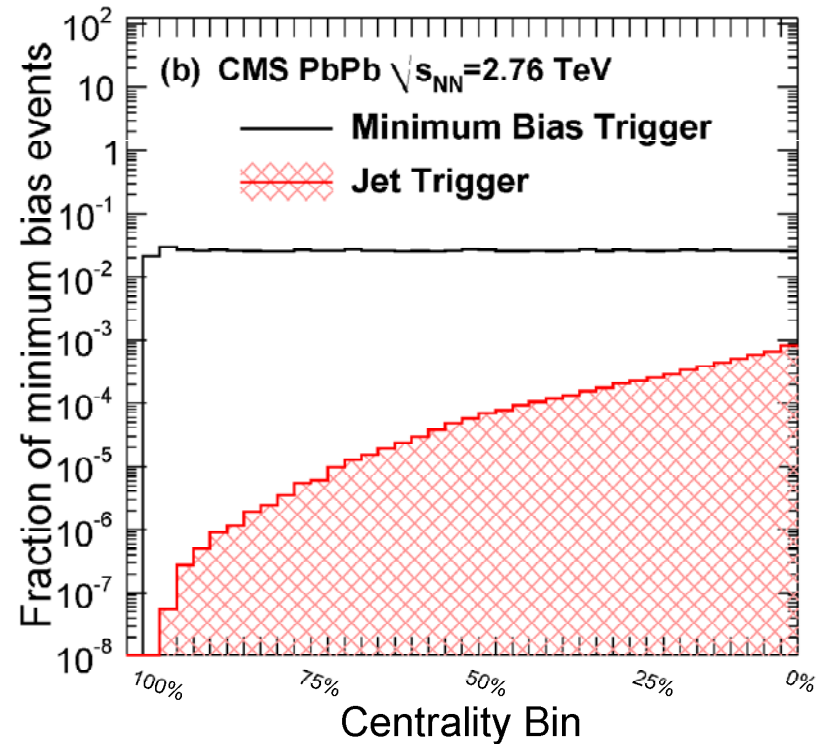
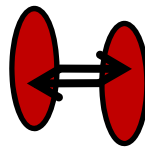
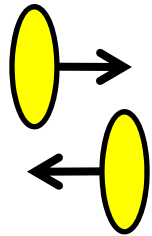
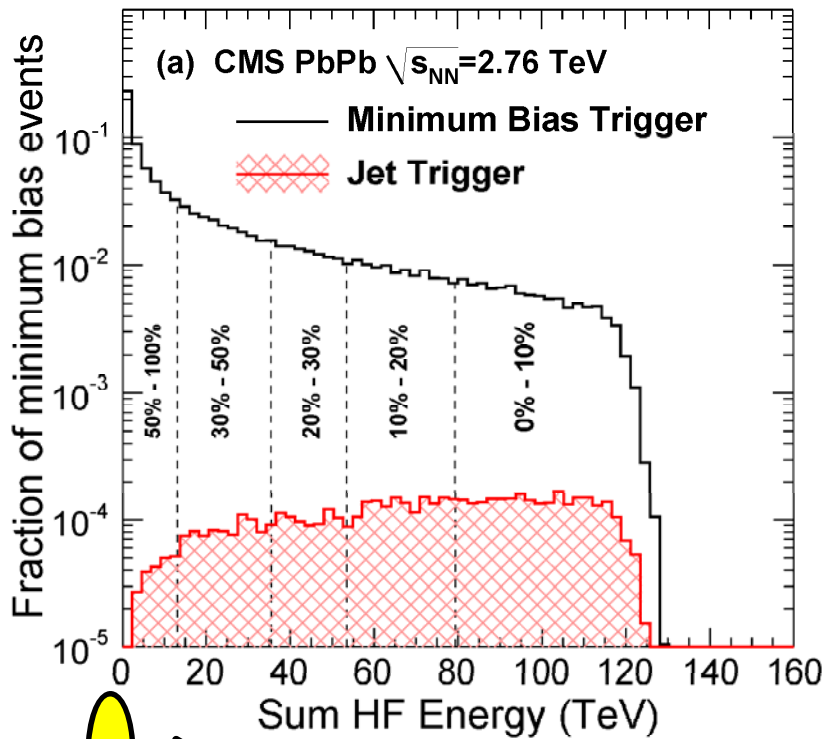


Centralité

Distribution de l'énergie déposée dans le HF

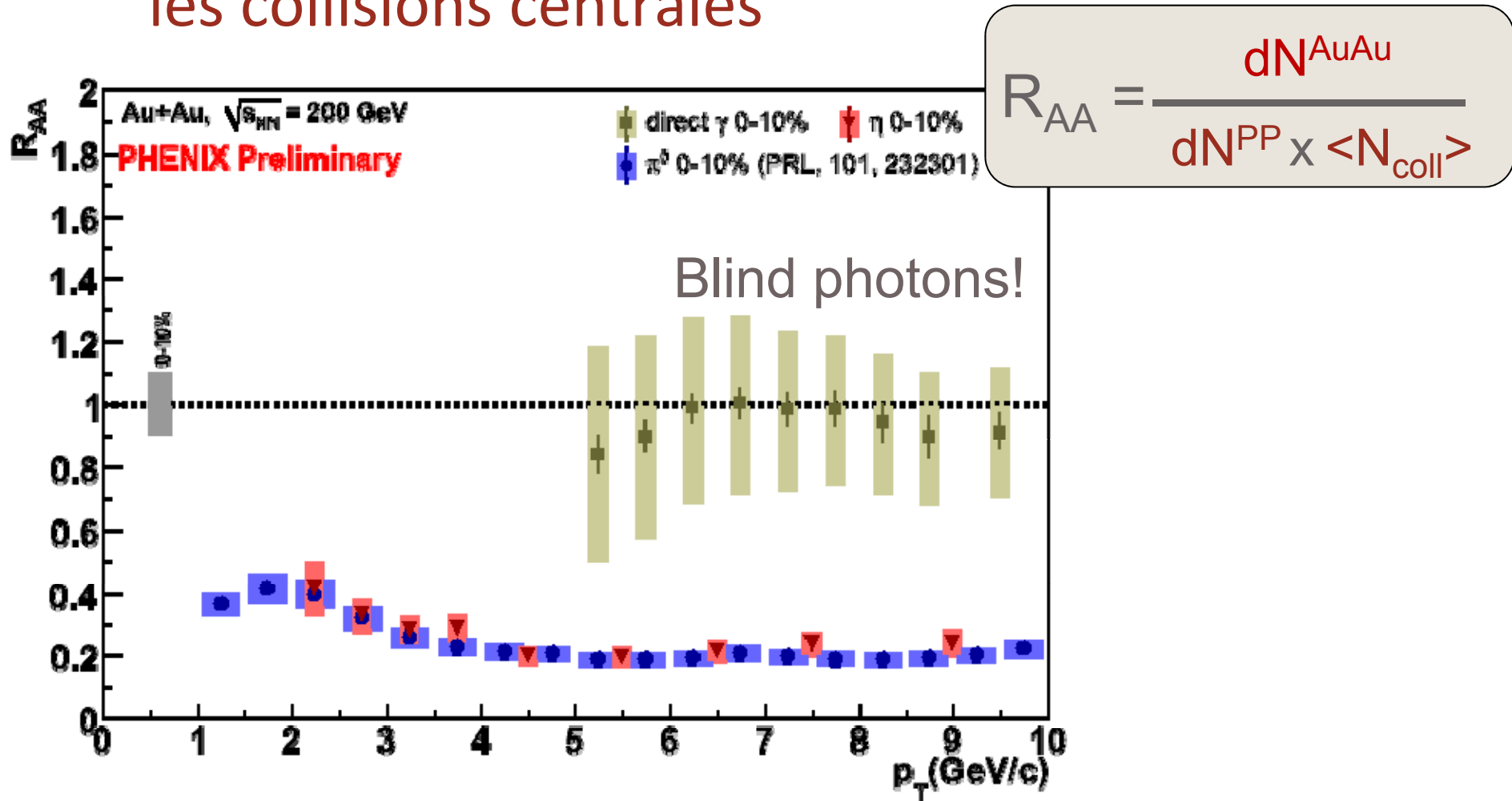


Centralité en pourcentage de la section efficace totale



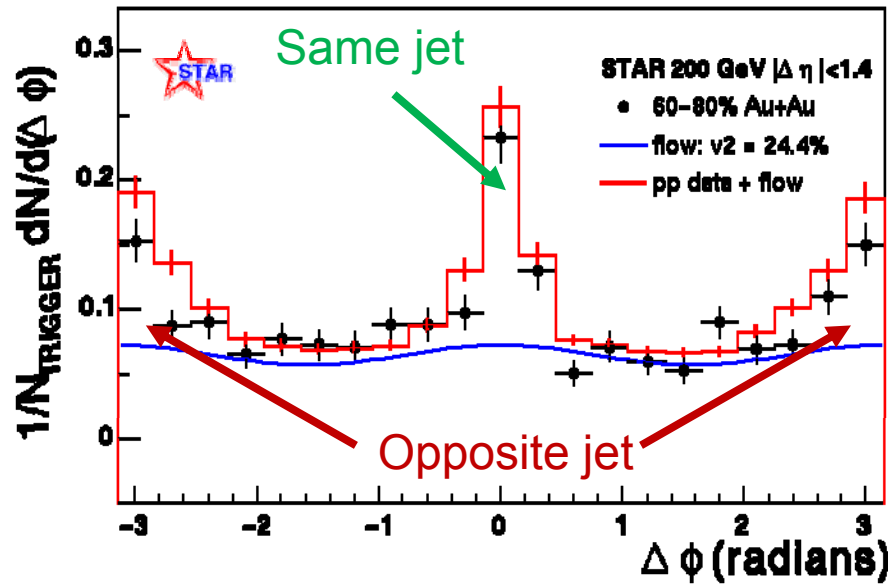
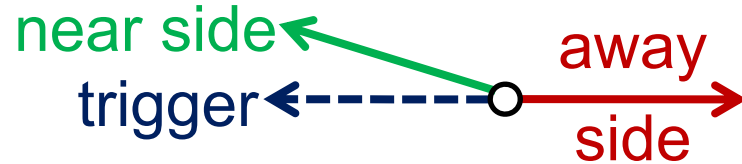
Jet (hadron) quenching à RHIC (1/2)

- Suppression de hadrons de « grand » p_T dans les collisions centrales



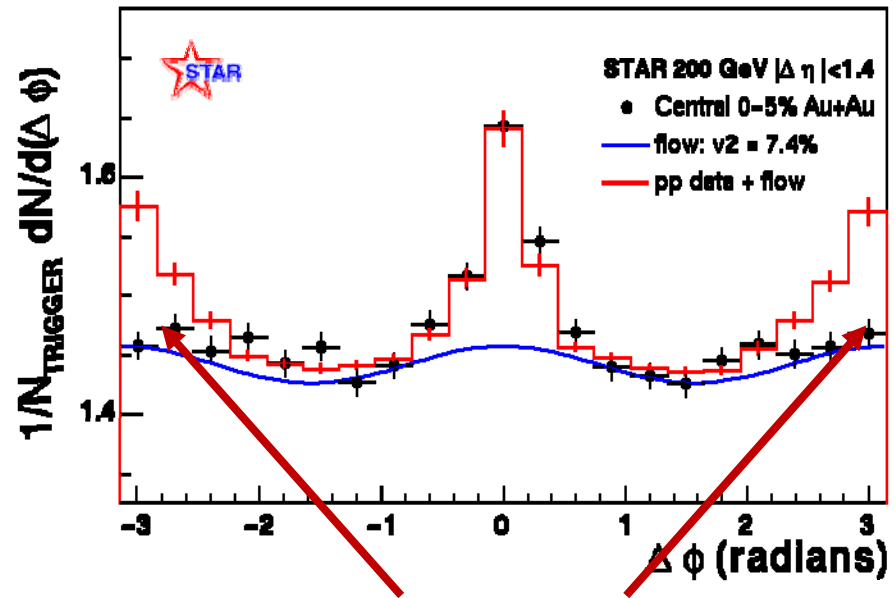
Jet (hadron) quenching à RHIC (2/2)

Peripheral collisions (60-80%)



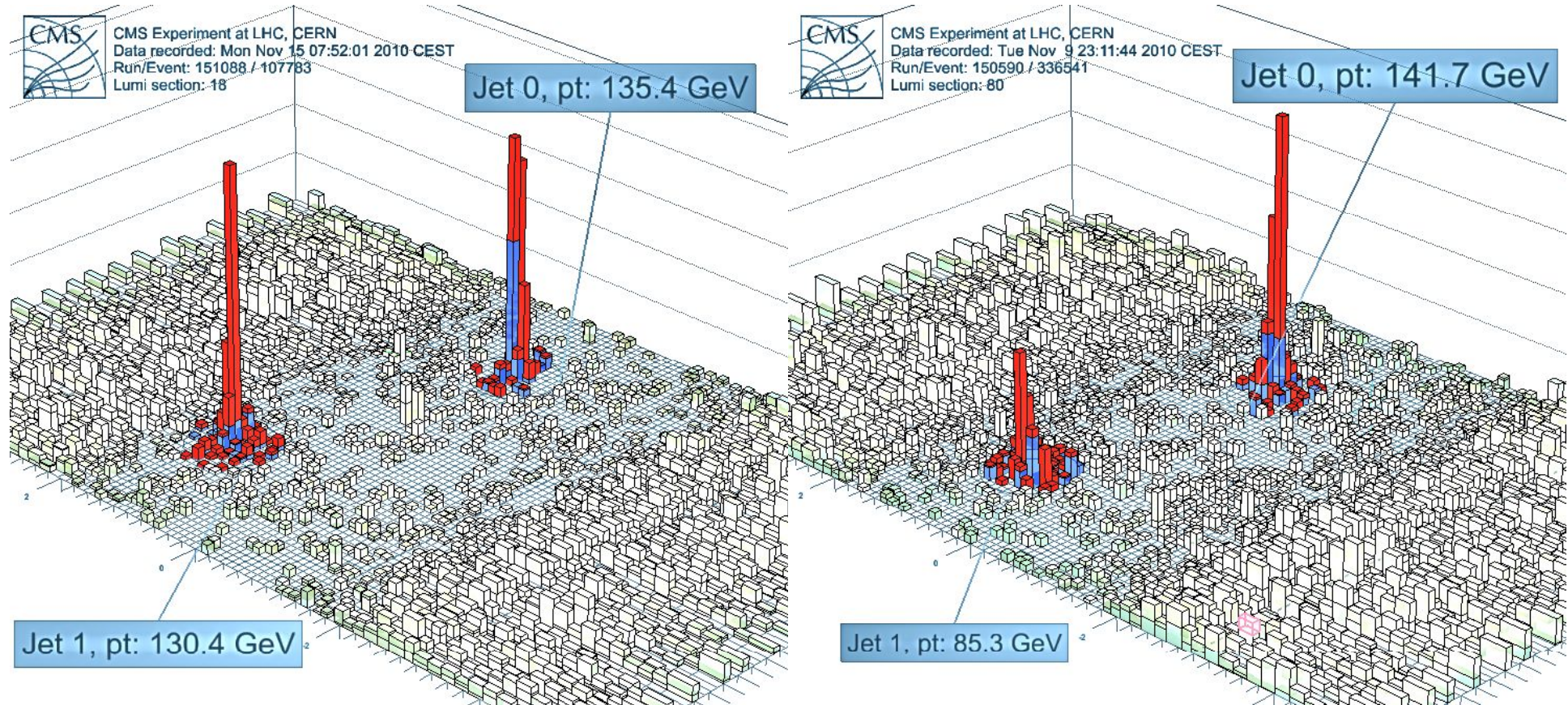
Take a “trigger” particle ($p_T > 4 \text{ GeV}/c$) and look at the others ($p_T > 2 \text{ GeV}/c$)

Central collisions (0-5%)



In central collision, opposite hadrons disappear because of jet quenching

Au LHC, jets entièrement reconstruits



- Dès les premières heures...

Méthode

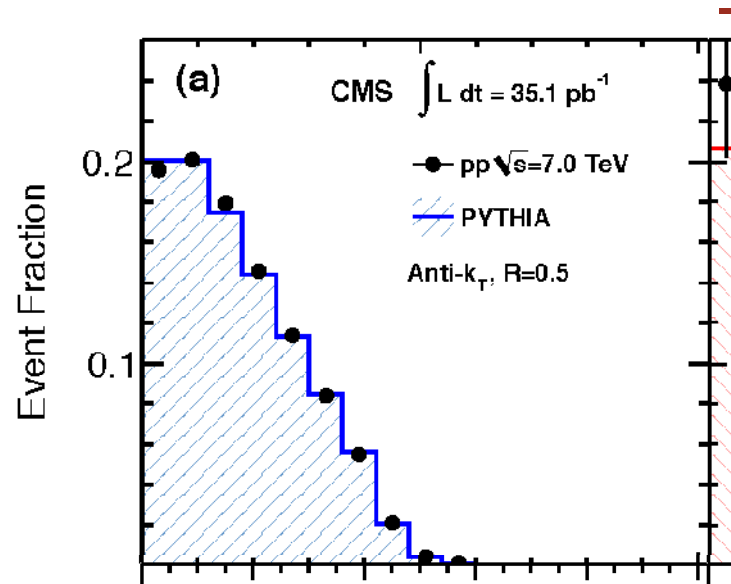
- Reconstruire les jets calorimétriques avec un algorithme de cône itératif (IC5, $\Delta R=0.5$), bruit de fond soustrait événement par événement
 - Également avec un anti-kT sur des objets du particle flow (tracks + calorimetry)
- Compare à
 - Pythia (D6T tune + isospin)
 - Pythia enchâssé dans des vraies données au niveau des dépôts bruts d'énergie (PYTHIA+DATA)
 - Pythia enchâssé dans un générateur d'ions lourds de bonne multiplicité (PYTHIA+HYDJET)

Asymmétrie des di-jets

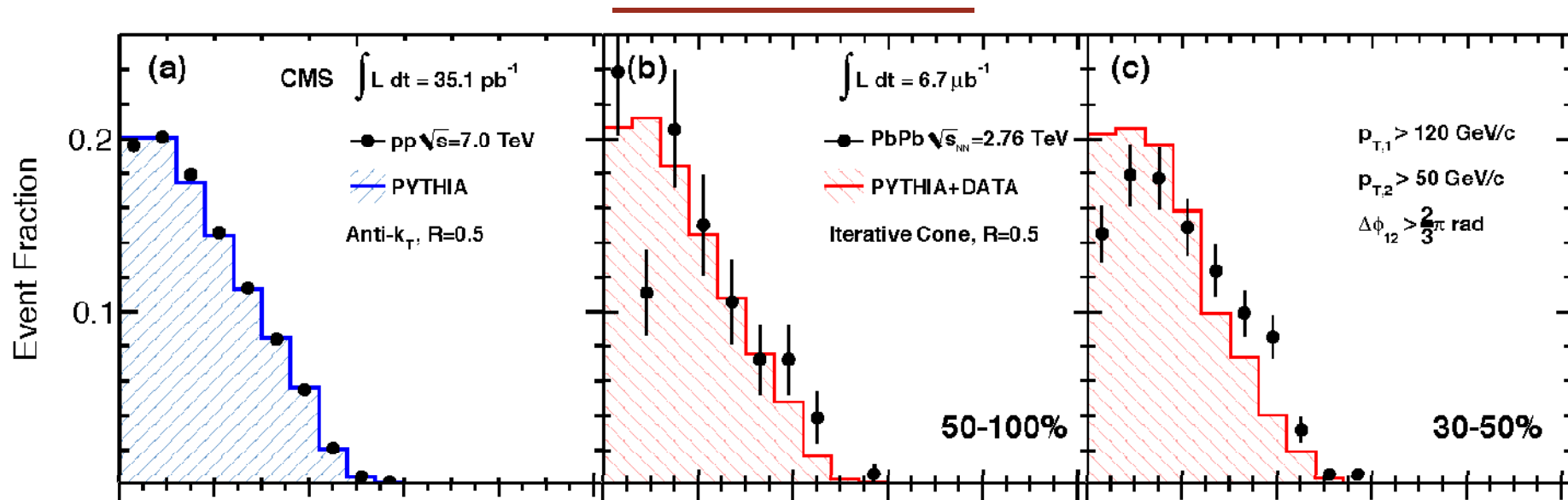
- Événements sélectionnés :
 - Un « leading » jet > 120 GeV
 - Trigger totalement efficace
 - Un « subleading » jet > 50 GeV
 - Au-dessus des fluctuations du fond
 - Dos à dos $\Delta\phi > 2\pi/3$
- Asymétrie énergétique:
 - élimine les incertitudes globales d'échelle d'énergie
 - Limité par la sélection
 - $(120 - 50) / (120 + 50) = 0,41$

$$A_J = \frac{E_T^{j1} - E_T^{j2}}{E_T^{j1} + E_T^{j2}}$$

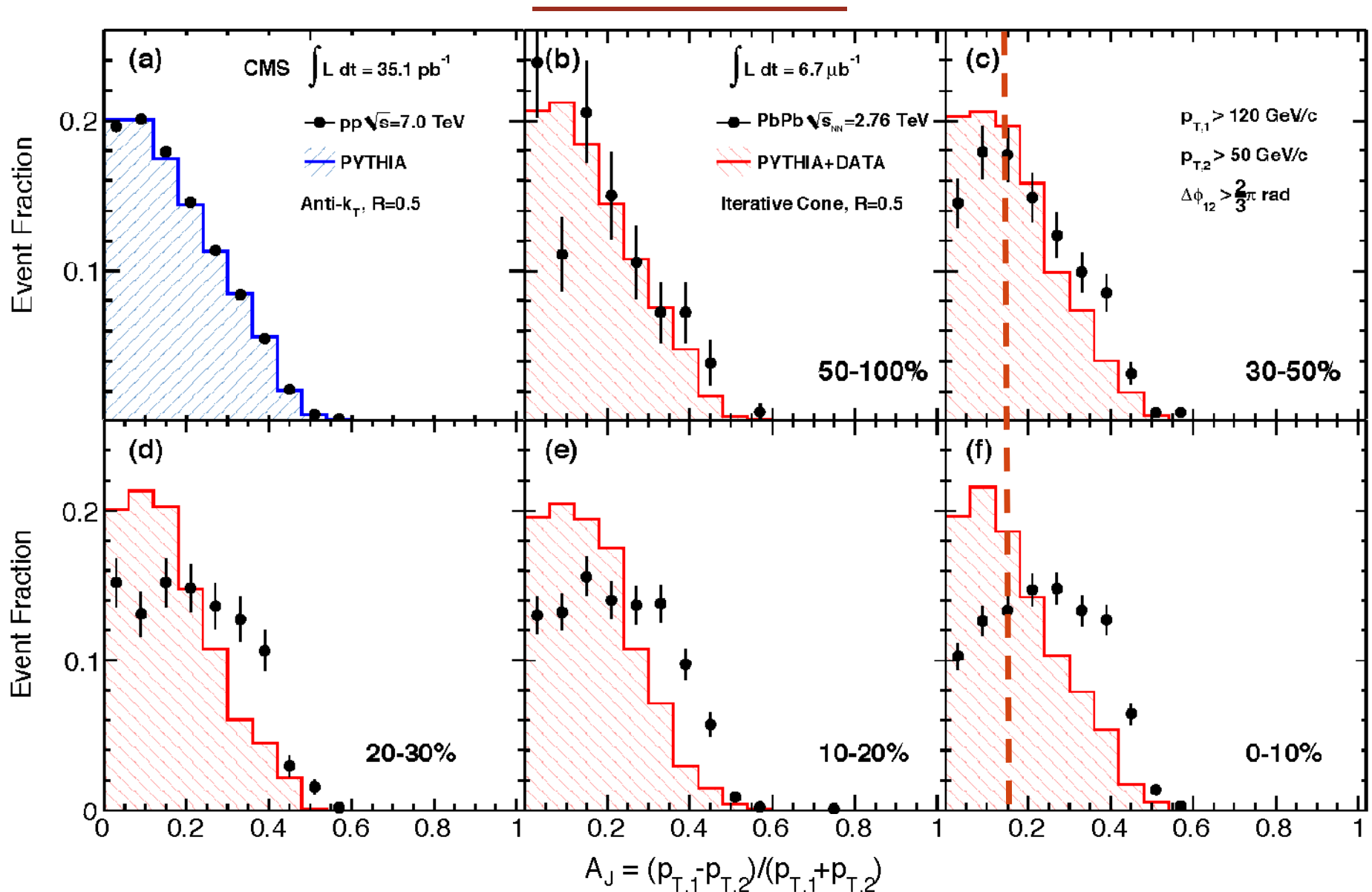
Asymmétrie des di-jets



Asymmétrie des di-jets

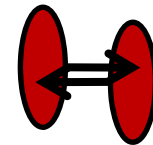
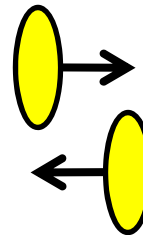
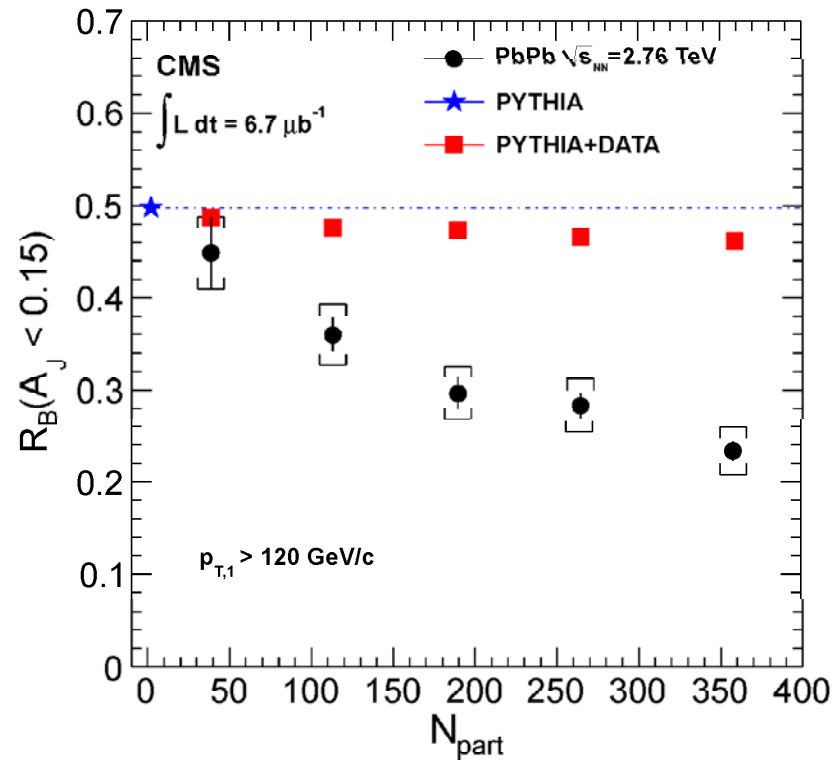


Asymmétrie des di-jets



Fraction de jets non-balancés

- Pas de mono-jet dans la figure précédente...
- Ici, fraction des mono-jets qui trouvent un jet opposé avec:
 - $A_j < 0,15$ ($p_{T2} < \frac{3}{4} p_{T1}$)
 - (médiane pour Pythia)
 - $\Delta\phi > 2\pi/3$
- Dans les collisions centrales, la moitié des jets se perdent...



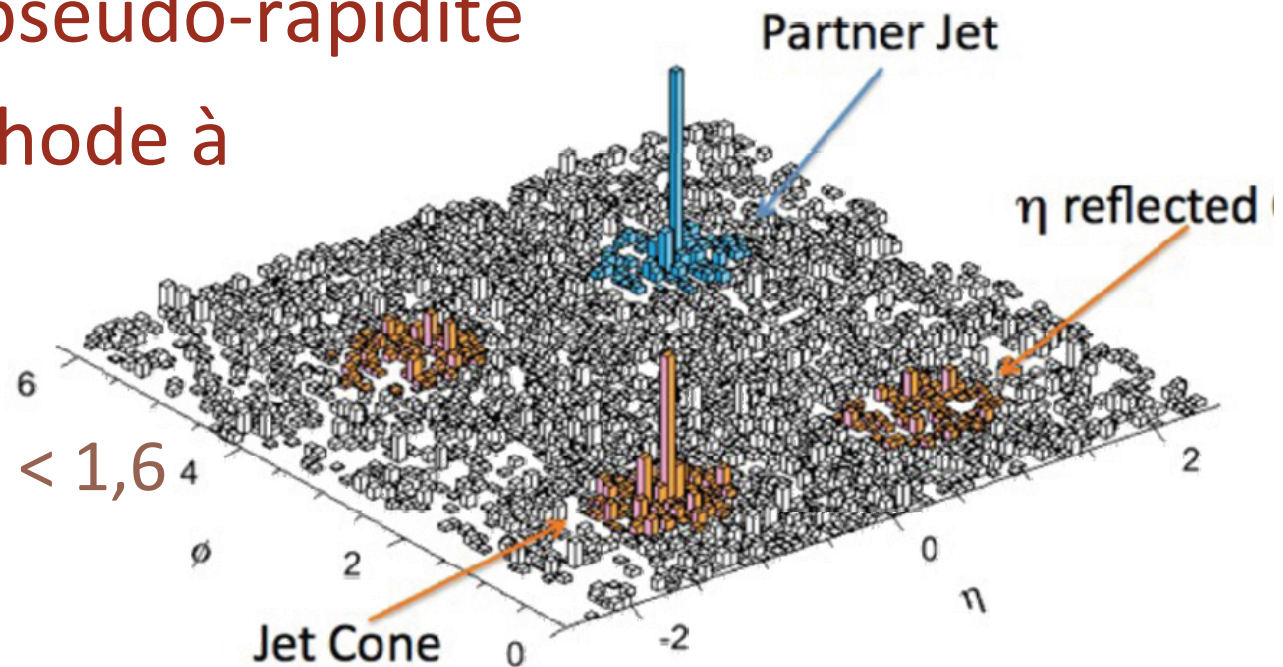
Où est passée l'énergie ?

- $A_j \rightarrow$ De nombreux jets perdent la moitié de leur énergie dans le milieu...
 - Dec'10, séminaire CERN, CMS+ATLAS(+ALICE pour hadron)
 - <http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=114939>
 - ATLAS, PRL 105 (2010) 252303
 - <http://arxiv.org/abs/arXiv:1011.6182>
- Où est-elle passée ?
 - Particules de bas p_T qui n'atteignent plus les calorimètres ?
 - Particules qui s'échappent du cone ?
- Deux autres observables pour étudier la fragmentation
 1. Corrélacion jet-particules chargées
 2. p_T manquant sur l'axe des jets

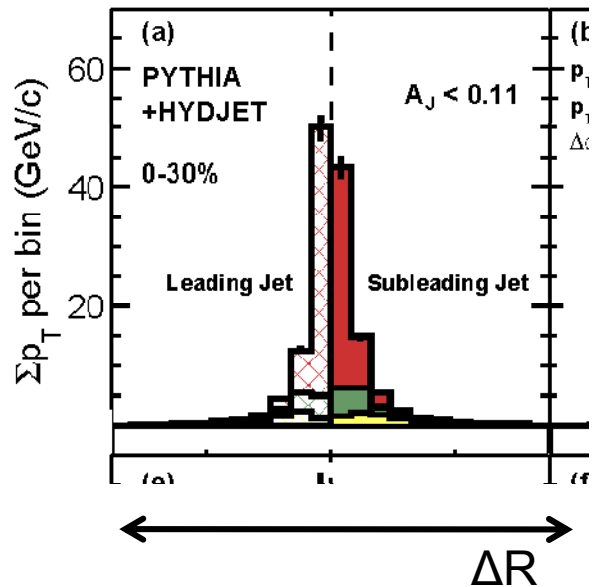
\rightarrow Séminaire FNAL d'Ed Wenger, le 28 janvier, article à suivre...

1. Corrélations jet-particule

- Répartition des particules chargées dans nos jets calorimétriques
- Soustraction de l'événement sous jacent par réflexion en pseudo-rapidité
- Limite la méthode à
 - $p_T > 1 \text{ GeV}/c$
 - $\Delta R < 0,8$
 - Jet $0,8 < |\eta| < 1,6$

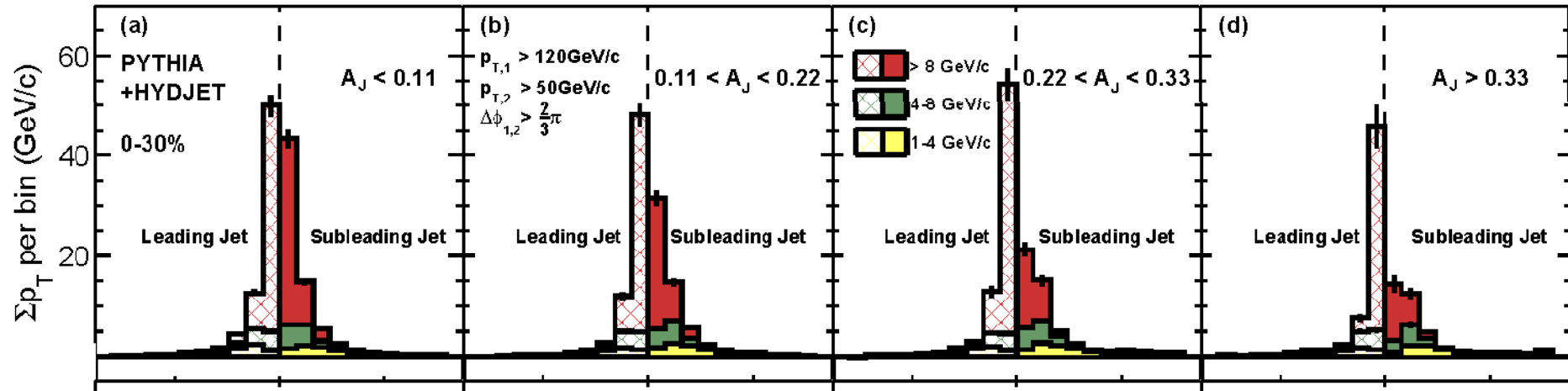


Corrélations jet-particule



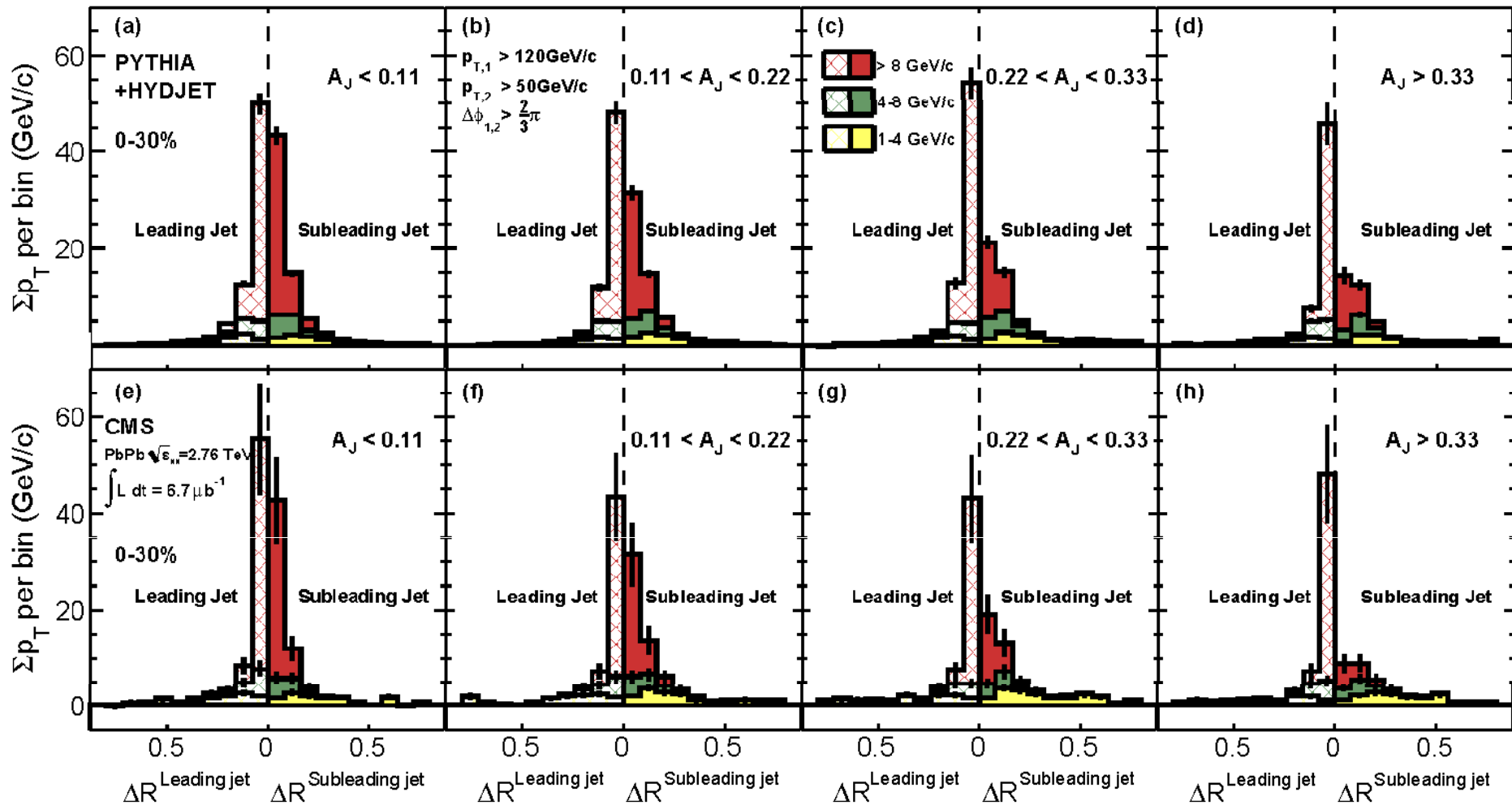
- En fonction de ΔR , la composition des jets en particules de
 - $p_T > 8 \text{ GeV}/c$
 - $4 < p_T < 8 \text{ GeV}/c$
 - $1 < p_T < 4 \text{ GeV}/c$
- Area $\propto p_T$
- Pour le leading (gauche) et le subleading (droite) jet

Corrélations jet-particule



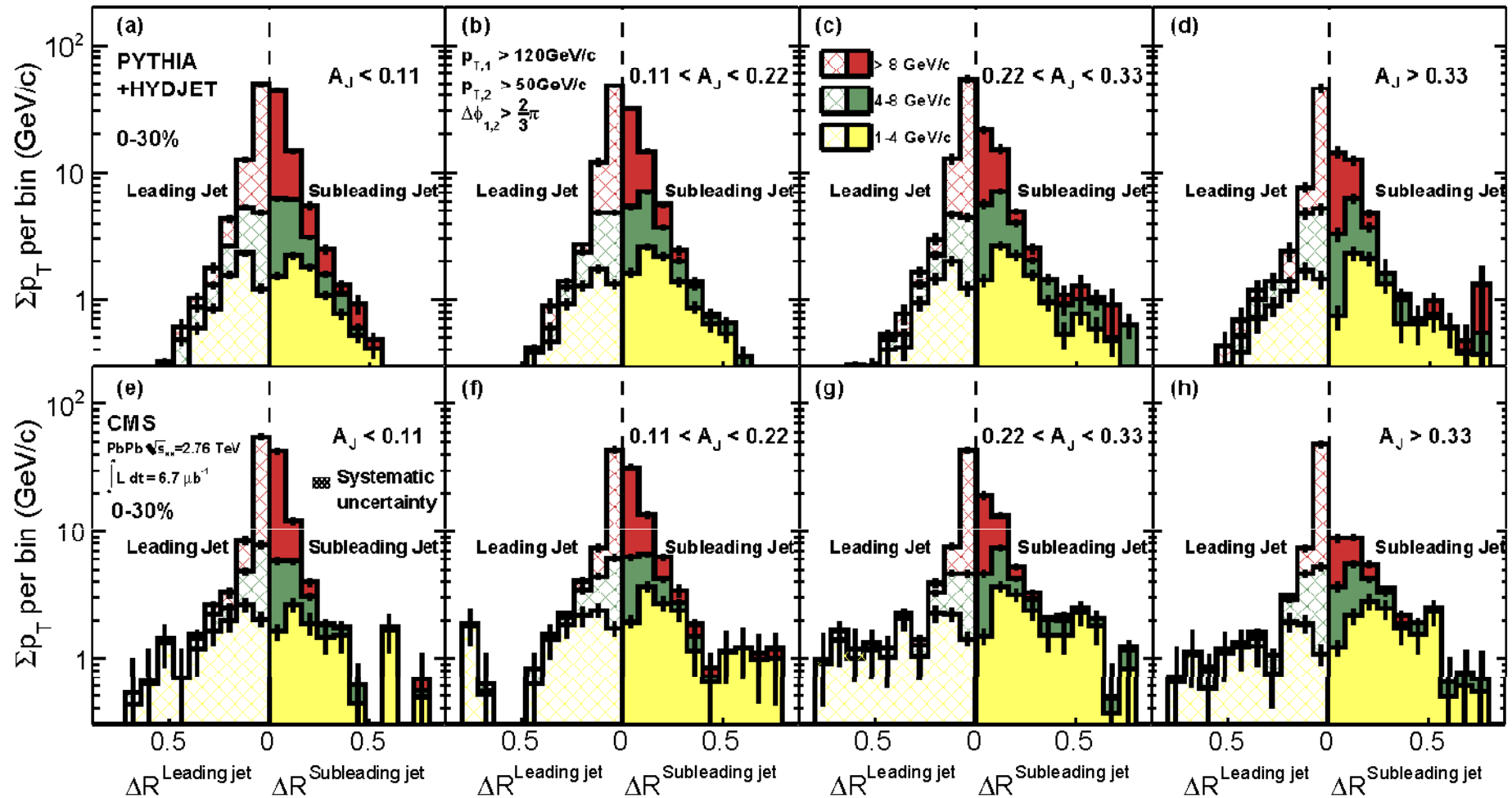
- En fonction de A_J
- Même pour Pythia + Hydjet, larges asymétries, mais pour très peu d'événements (tri-jets)

Corrélations jet-particule



- Dans les données, plus de particules de bas p_T , grand ΔR

Corrélations jet-particule (log)



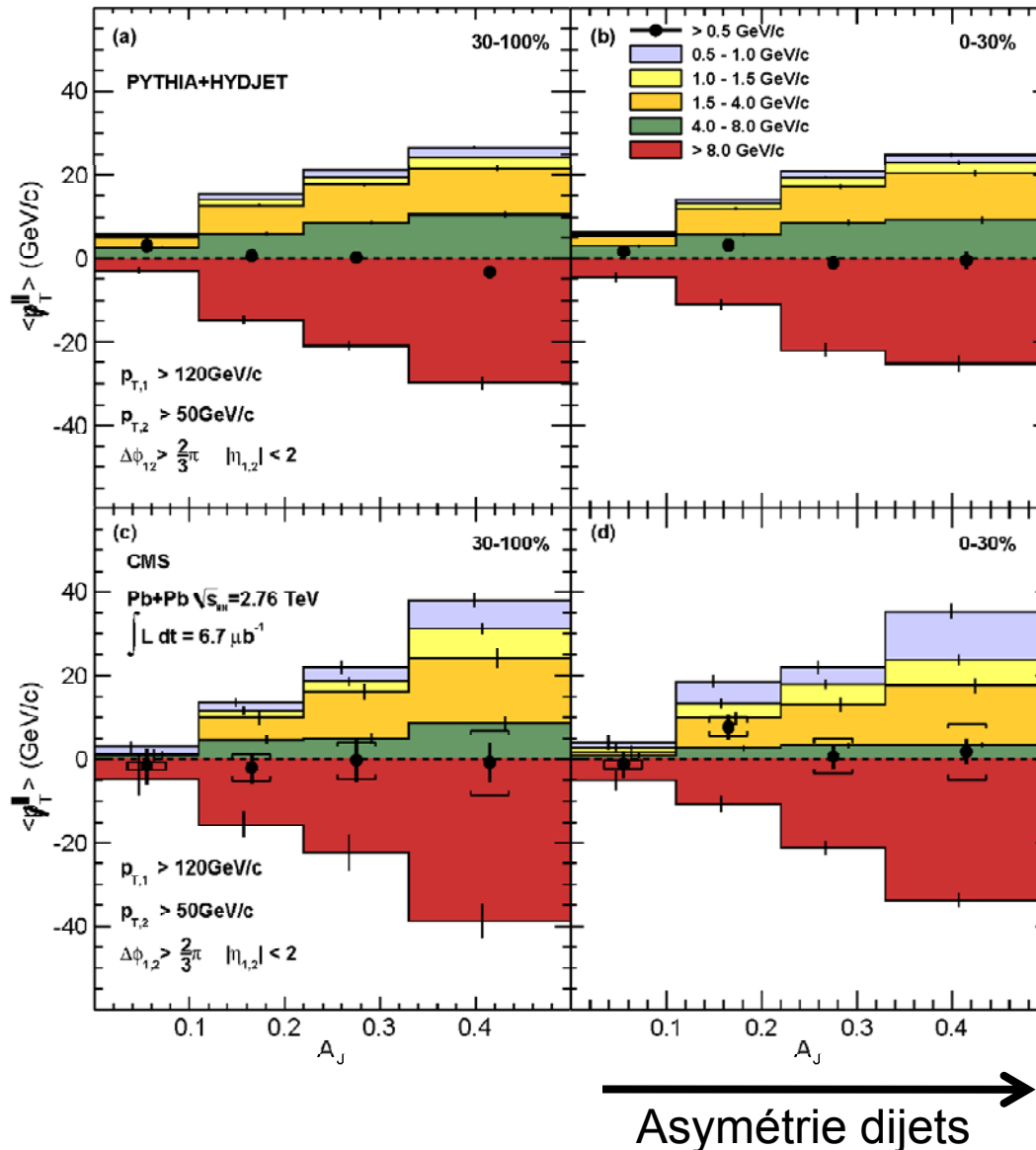
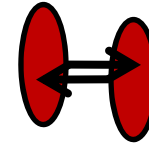
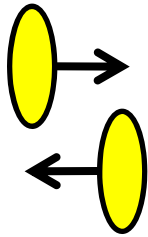
- Dans les données, plus de particules de bas p_T , grand ΔR

2. p_T manquante

- Projeter le p_T des traces sur l'axe du dijet, et voir ce qu'il manque
- Pas de soustraction du fond
 - Toute traces de $p_T > 0.5$ GeV/c et $|\eta| < 2.4$

$$\cancel{p}_T^{\parallel} = \sum_{\text{Tracks}} -p_T^{\text{Track}} \cos(\phi_{\text{Track}} - \phi_{\text{Leading Jet}})$$

p_T manquante



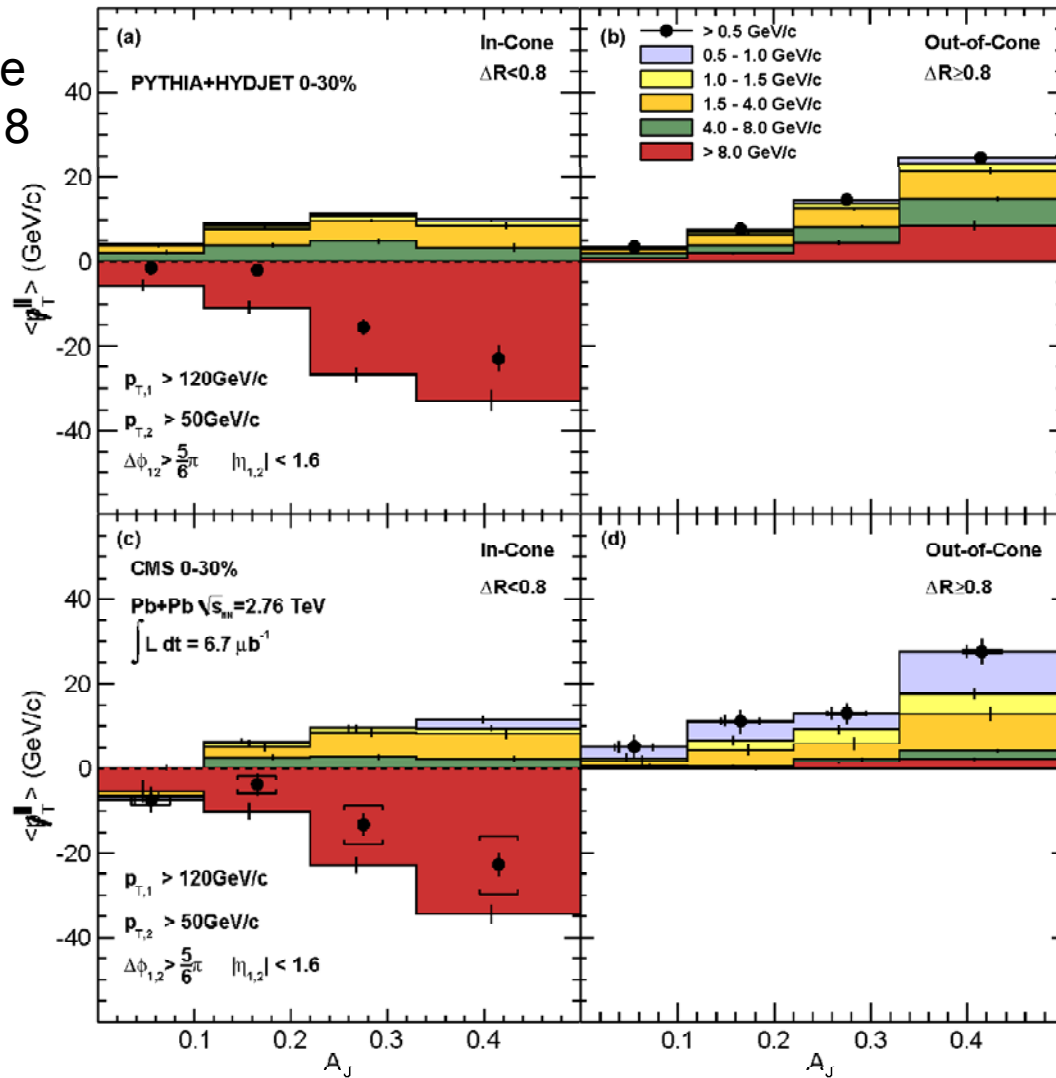
← Excès de particules de très bas p_T

← Le p_T moyen vaut zéro, l'énergie est retrouvée !

p_T manquante

In cone
 $\Delta R < 0.8$

Out of cone
 $\Delta R > 0.8$



Asymétrie dijets →

Conclusions di-jets

- Comme prévu, la reconstruction de jets au LHC ouvre de nouvelles perspectives
- Les jets sont fortement quenchés
- L'énergie se dissipe en particules de bas p_T , de grand ΔR
- Publication et interprétation à suivre
- Début des études détaillées de fragmentation des jets dans le milieu...

Analyses en cours...

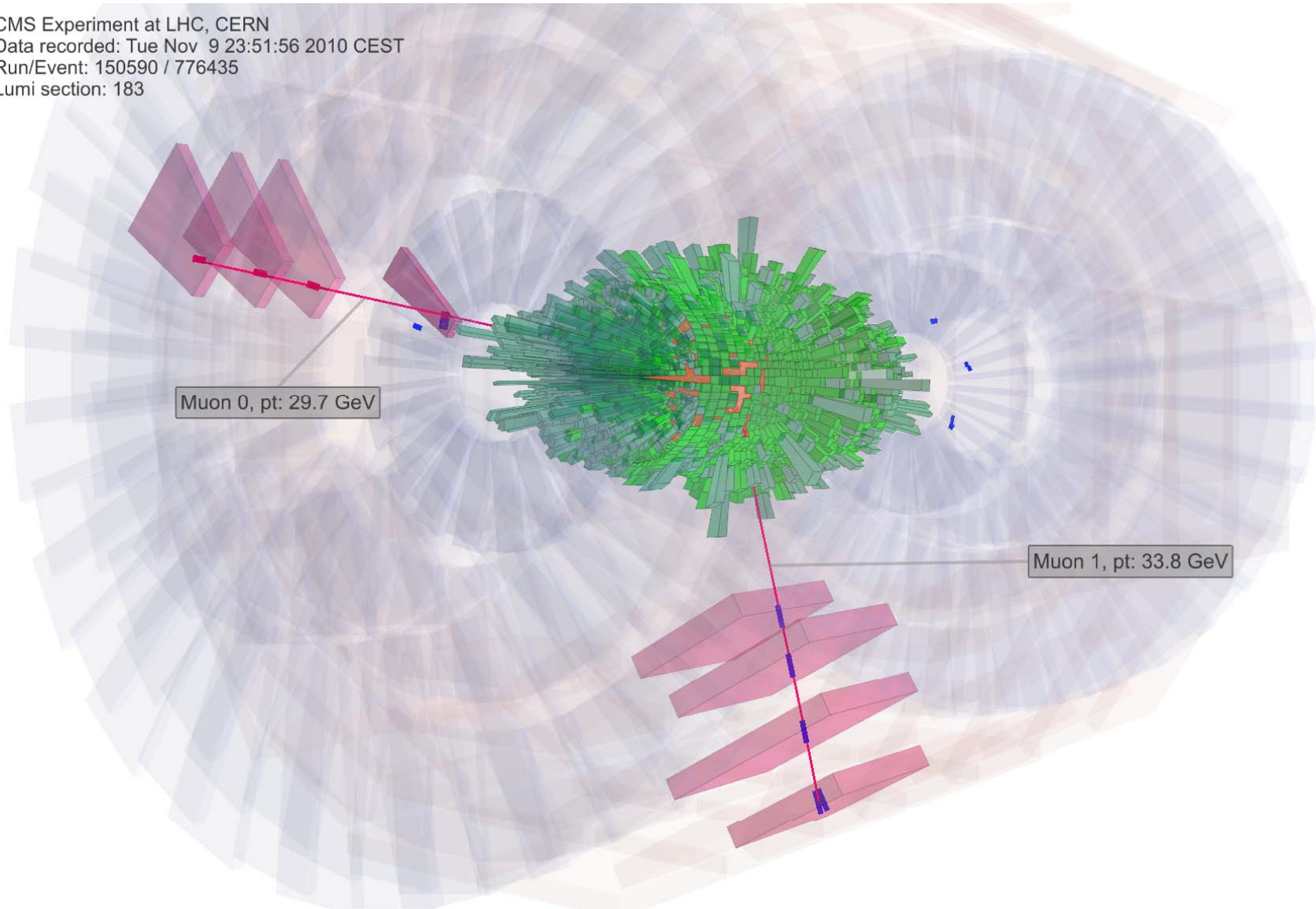
<http://cms.web.cern.ch/cms/News/2010/FirstZs-HeavyIons/>

COUP D'ŒIL AUX DILEPTONS

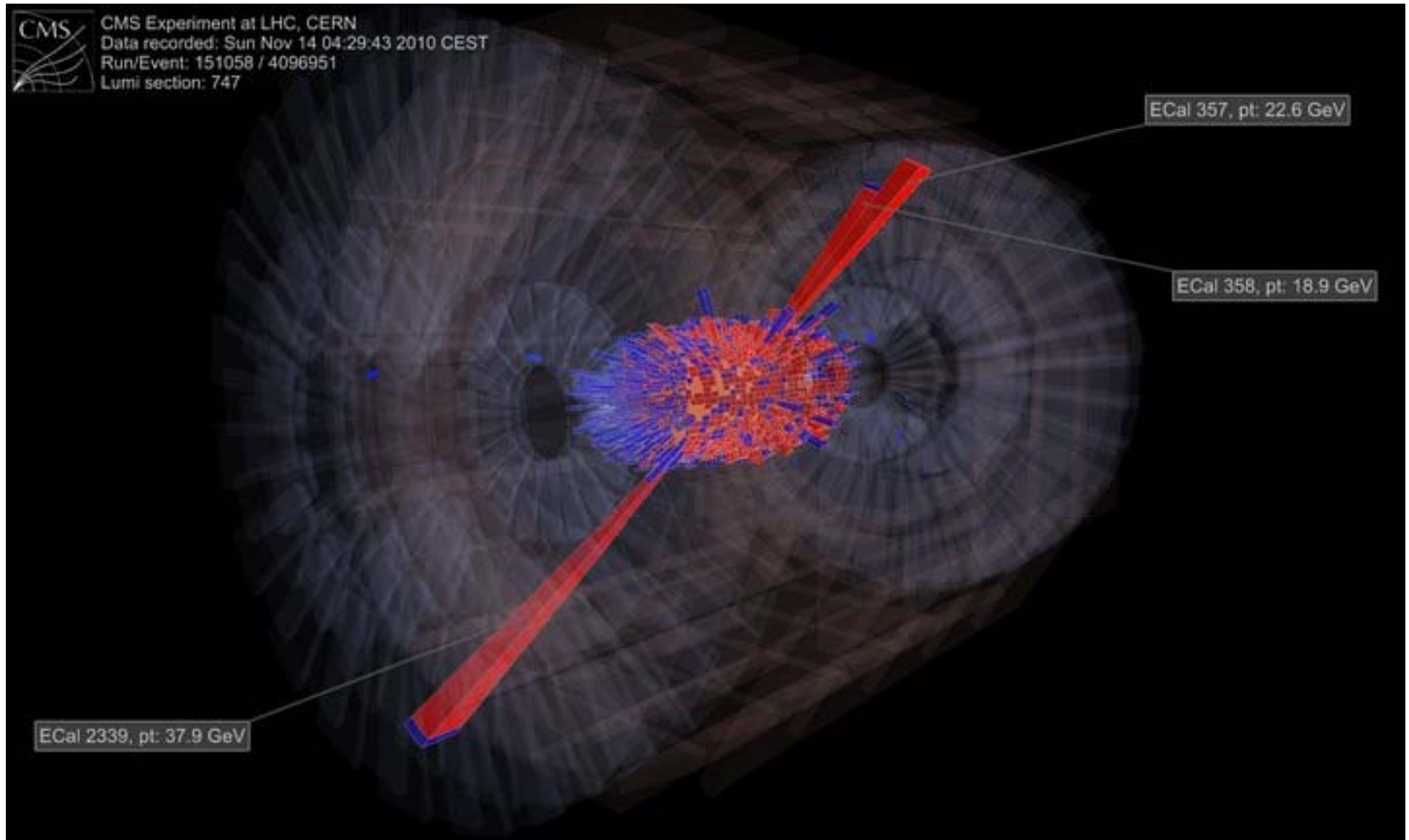
Le premier Z jamais observé en ions lourds



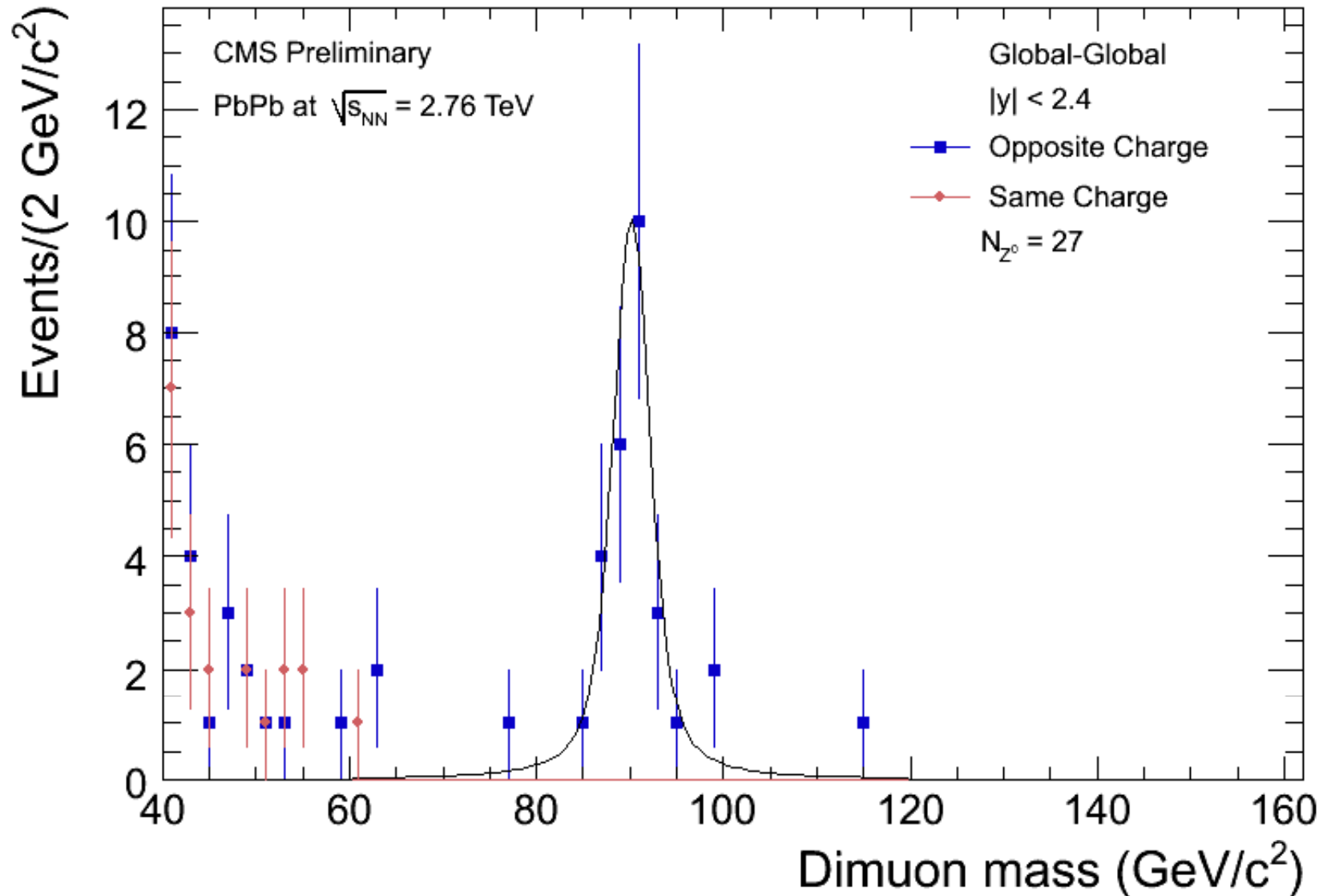
CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Tue Nov 9 23:51:56 2010 CEST
Run/Event: 150590 / 776435
Lumi section: 183



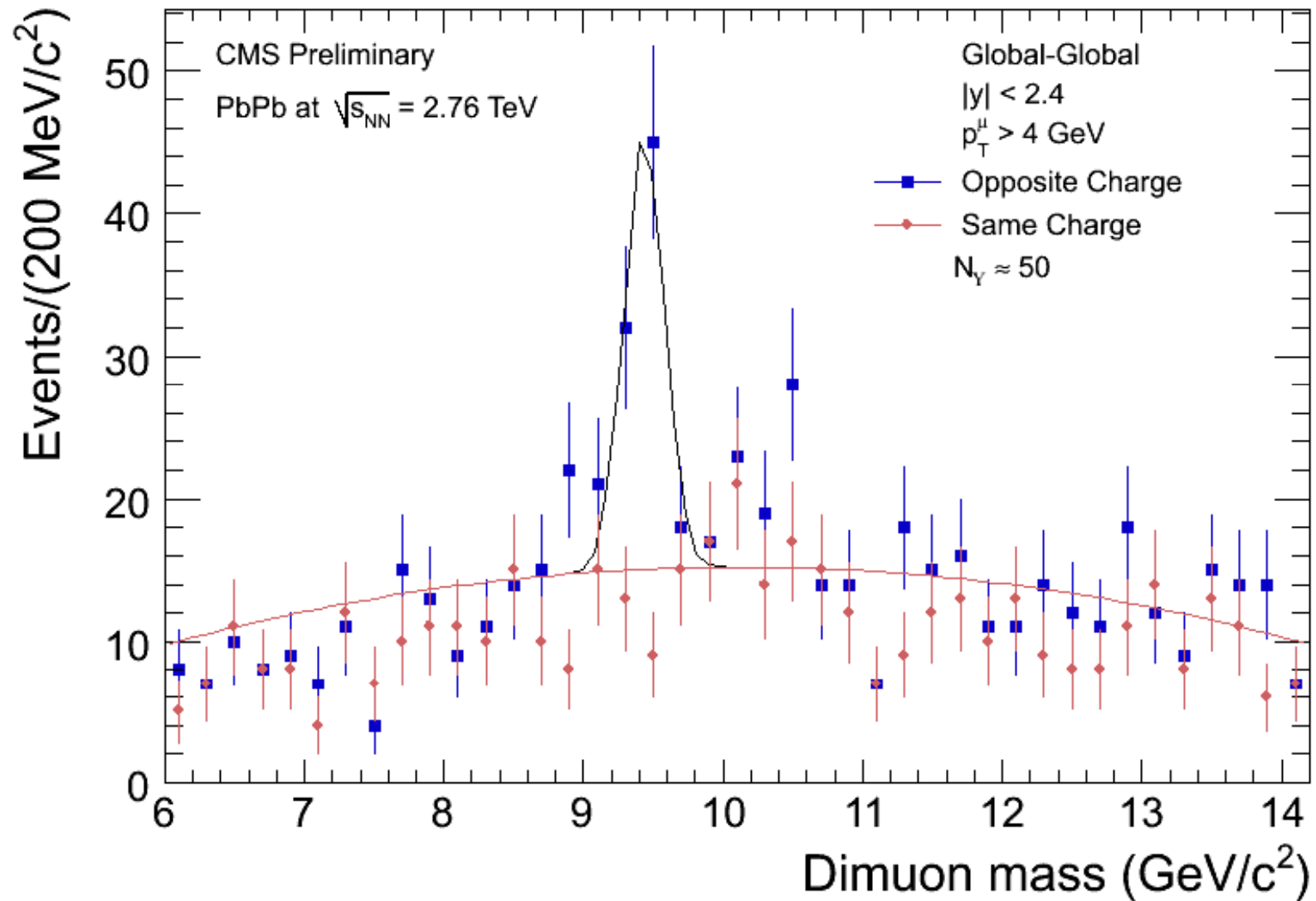
Et un premier $Z \rightarrow ee$



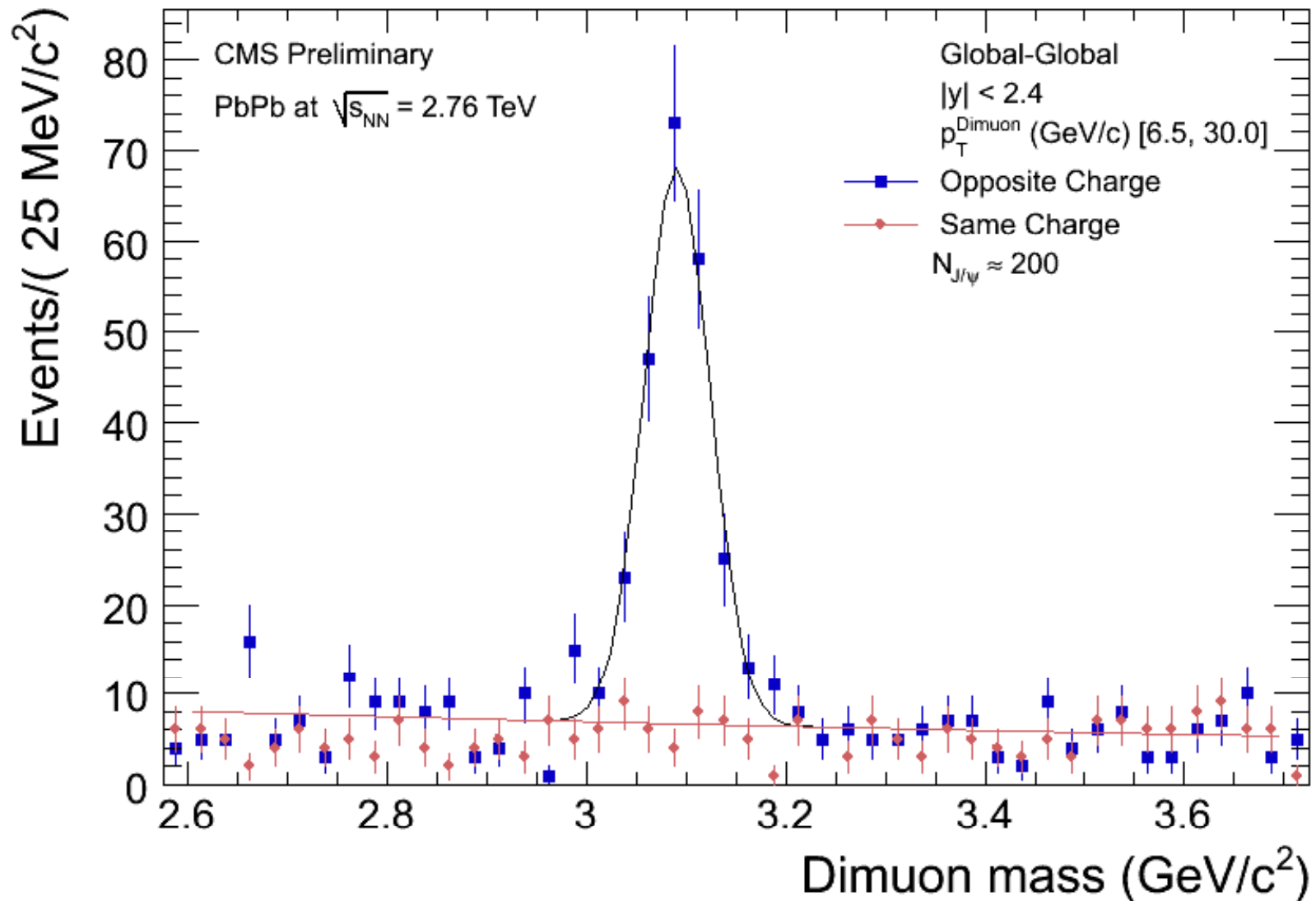
Un pic de Z



Des Upsilon



Des J/ ψ

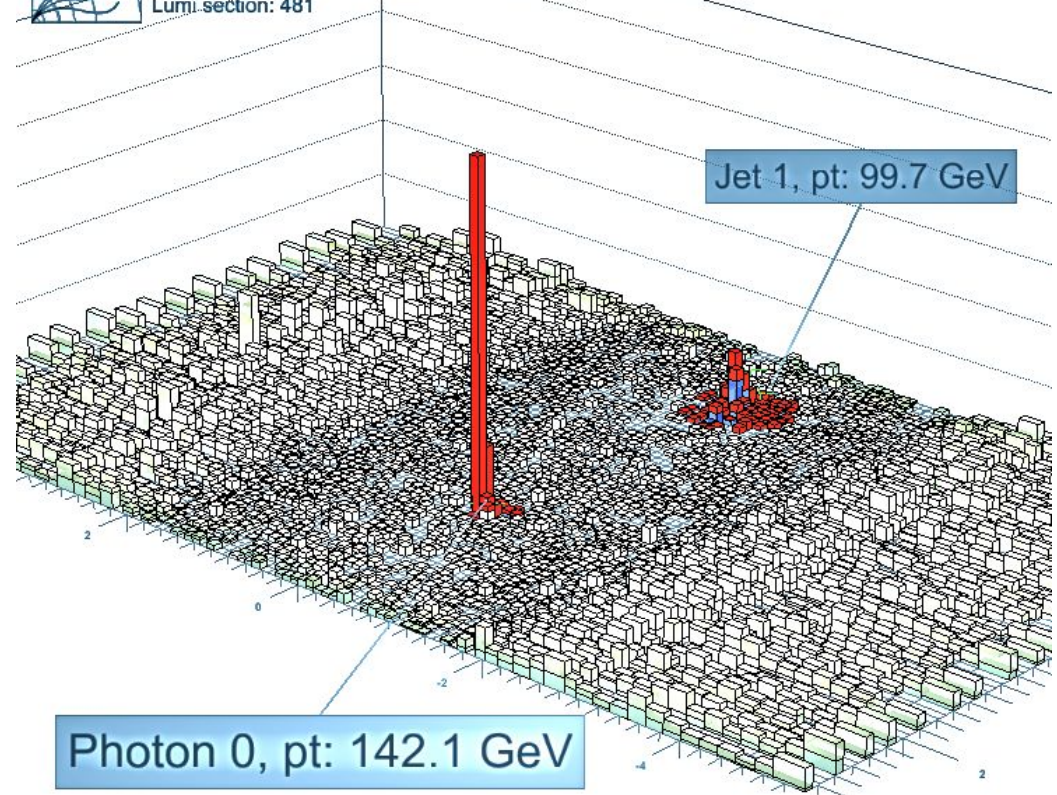


Intérêt des dileptons

- Le Z, non modifié par le milieu, est une chandelle standard
- Les Upsilon (1s, 2s, 3s) pourraient fondre dans le milieu, pas étudiés à RHIC
- Les J/ψ également, mal compris à RHIC
 - Pourraient également être recombines / augmentés
- Rapide preprint d'ATLAS montre que les J/ψ de grand p_T sont supprimés, mais pas de séparation de la contribution du $B \rightarrow J/\psi$
 - <http://arxiv.org/abs/1012.5419>



CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Wed Nov 17 05:49:31 2010-CEST
Run/Event: 151353 / 2563081
Lumi.section: 481



C'est parti et c'est pas fini !

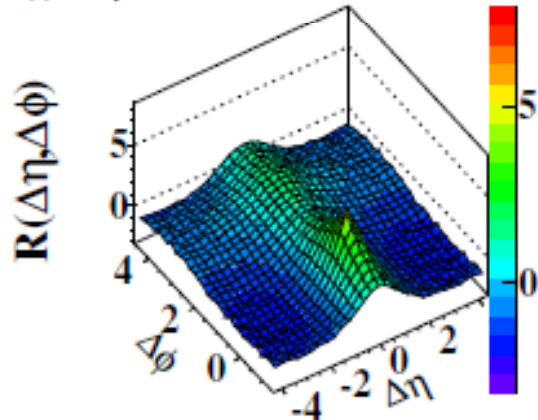
CONCLUSION...

DIAPPOSITIVES DE SECOURS...

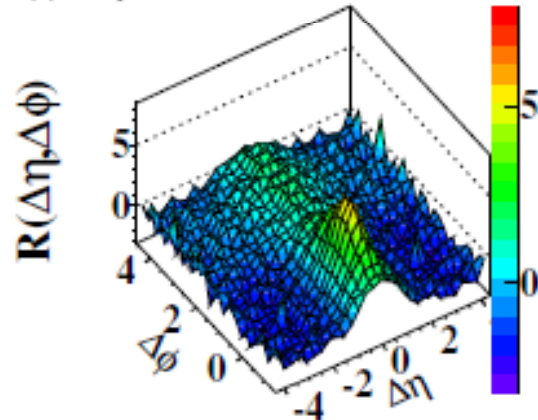
Corrélations versus \sqrt{s}

CMS, données de biais minimum

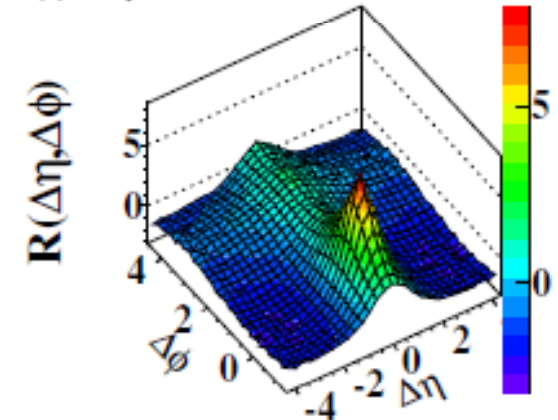
(a) CMS $\sqrt{s} = 0.9\text{TeV}$



(b) CMS $\sqrt{s} = 2.36\text{TeV}$

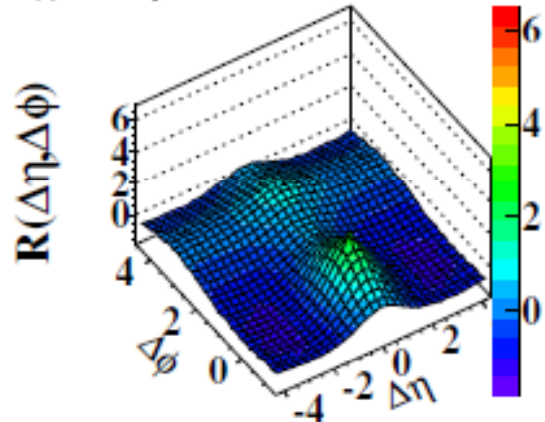


(c) CMS $\sqrt{s} = 7\text{TeV}$

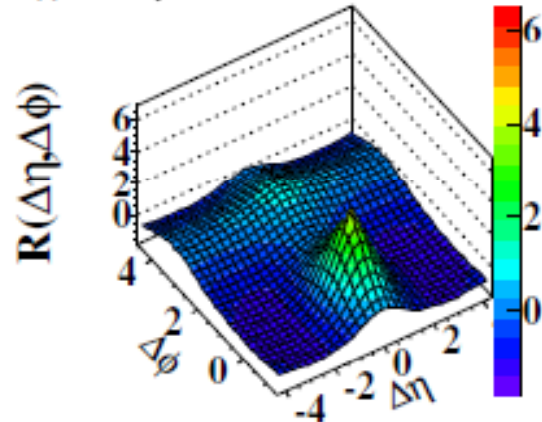


Pythia, D6T tune

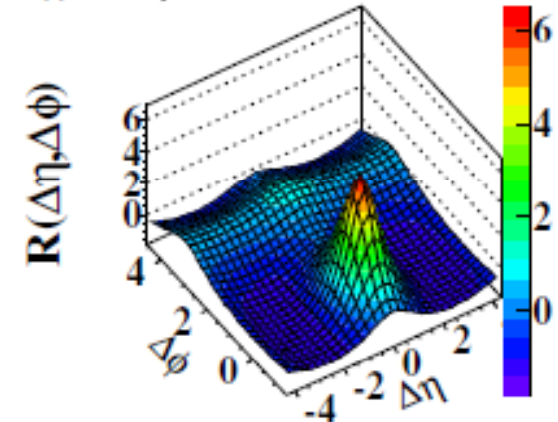
(a) PYTHIA $\sqrt{s} = 0.9\text{TeV}$



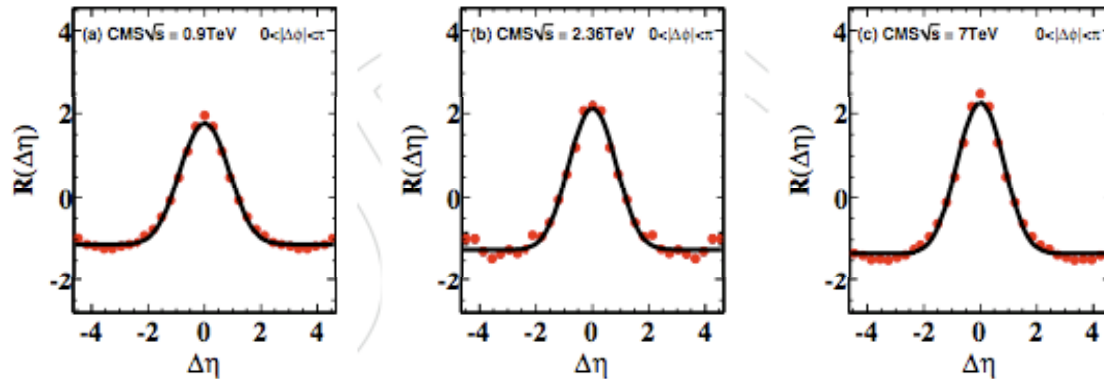
(b) PYTHIA $\sqrt{s} = 2.36\text{TeV}$



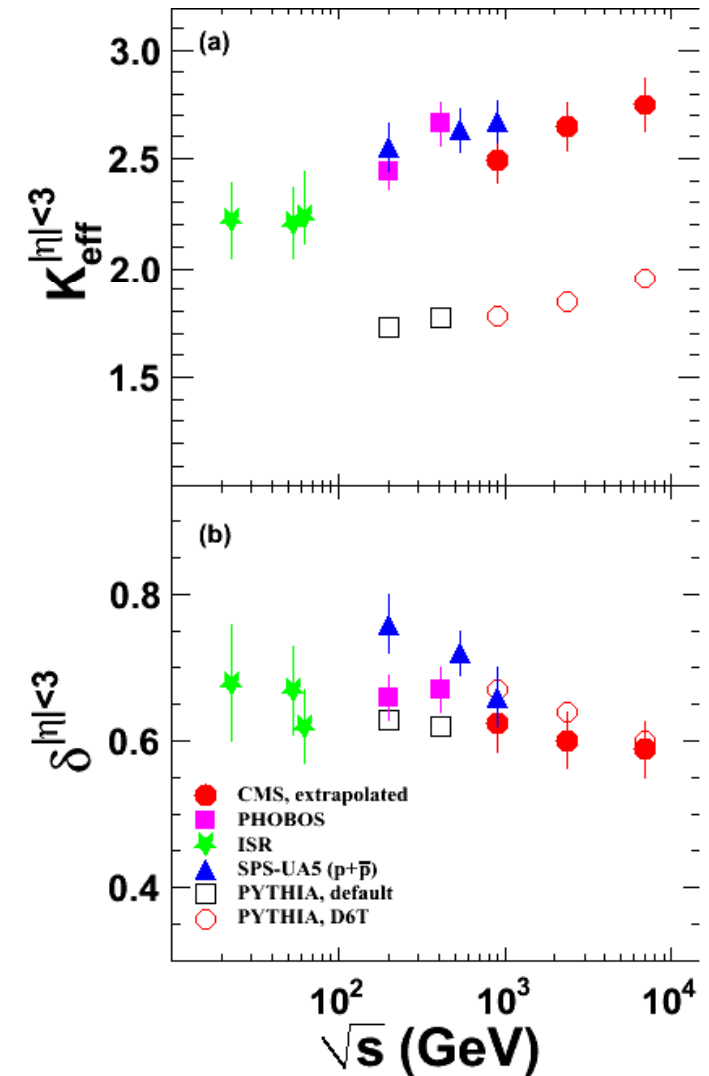
(c) PYTHIA $\sqrt{s} = 7\text{TeV}$



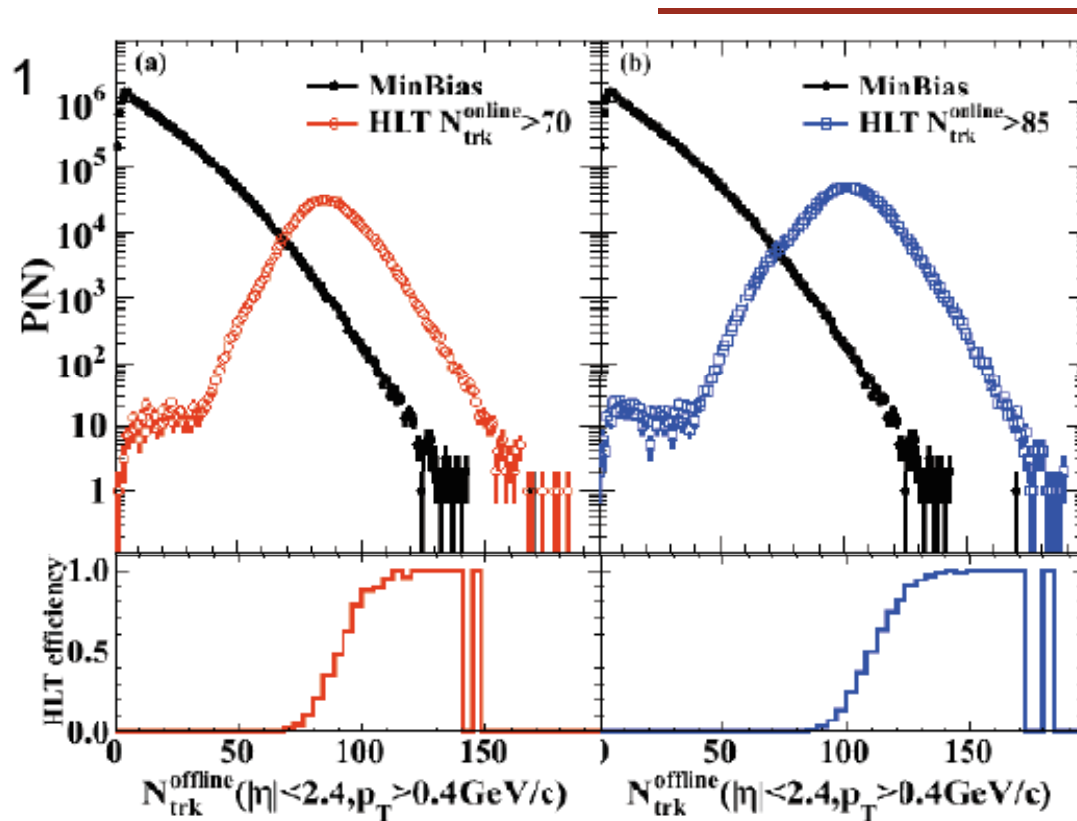
Projection sur l'axe $\Delta\eta$



- Ajuste une hauteur (K_{eff} force ou taille du cluster) et une largeur δ
 - K_{eff} augmente avec \sqrt{s}
 - Sous-estimée par Pythia (D6T)
 - δ constante
- Ici extrapolé à $p_T = 0$ et $|\eta| < 3$ pour comparaison \rightarrow



Déclenchement dédié



Deux seuils utilisés :
 $N^{\text{online}} > 70$ and $N^{\text{online}} > 85$

Pas de présélection
 du HLT85 jusqu'à 980 nb^{-1}
 (\approx moitié du CPU)

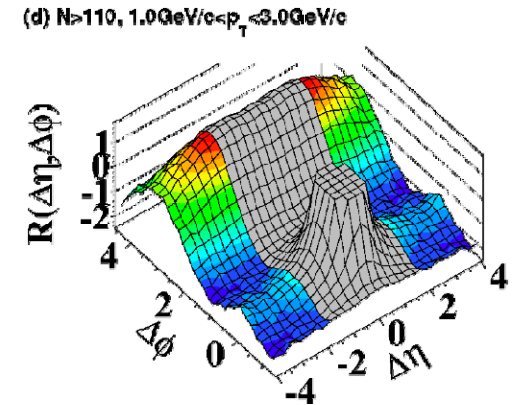
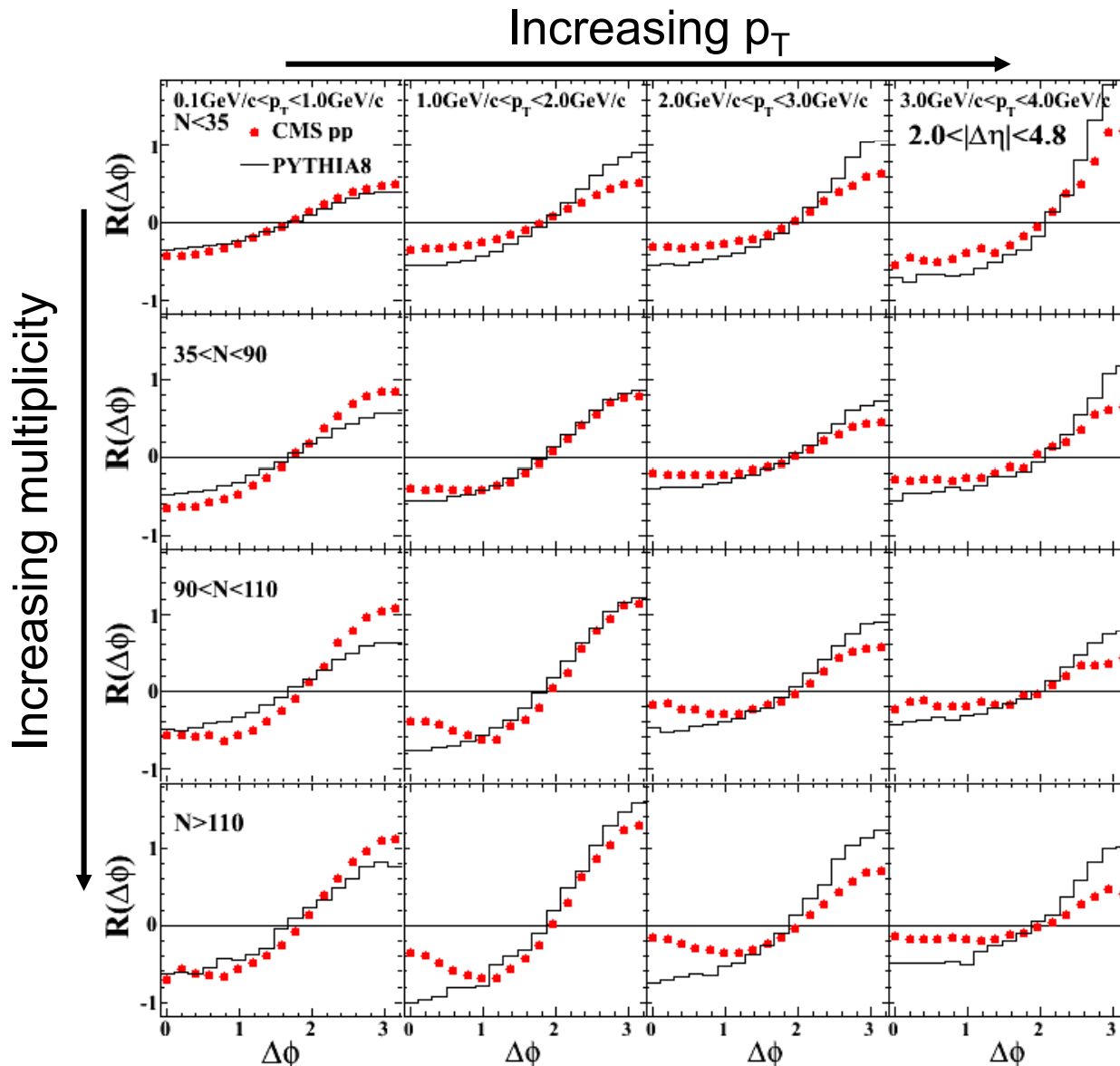
Multiplicités
 $p_T > 0,4 \text{ GeV}/c$
 $|\Delta\eta| < 2,4$

out of 5×10^{10} collisions



Multiplicity bin ($N_{\text{trk}}^{\text{offline}}$)	Event Count	$\langle N_{\text{trk}}^{\text{offline}} \rangle$
MinBias	21.43M	15.9
$N_{\text{trk}}^{\text{offline}} < 35$	19.36M	13.0
$35 \leq N_{\text{trk}}^{\text{offline}} < 90$	2.02M	45.3
$90 \leq N_{\text{trk}}^{\text{offline}} < 110$	302.5k	96.6
$N_{\text{trk}}^{\text{offline}} \geq 110$	354.0k	117.8

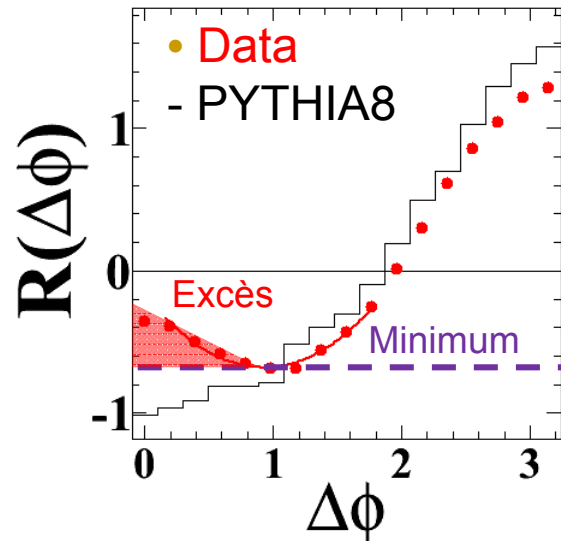
Projection sur $\Delta\phi$ ($|\Delta\eta|>2$)



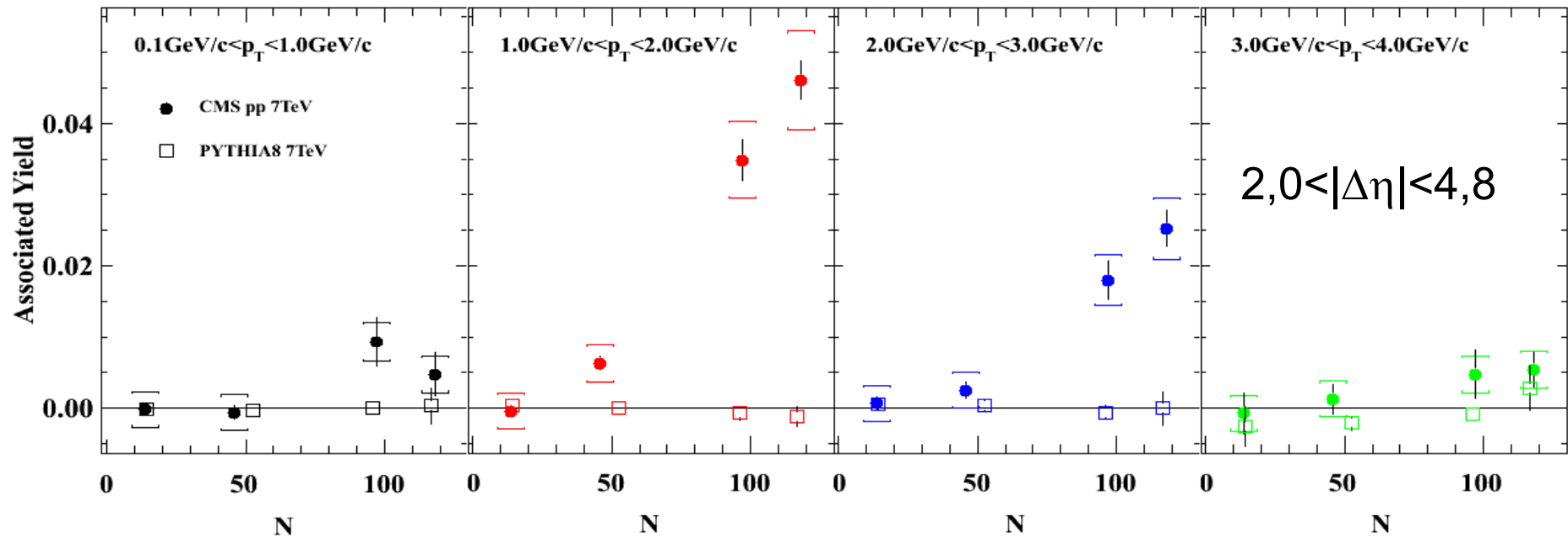
Le « ridge » à

- Grande multiplicité
- $p_T = 1-3 \text{ GeV}/c$

Quantification



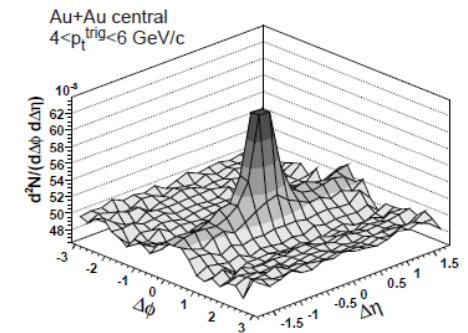
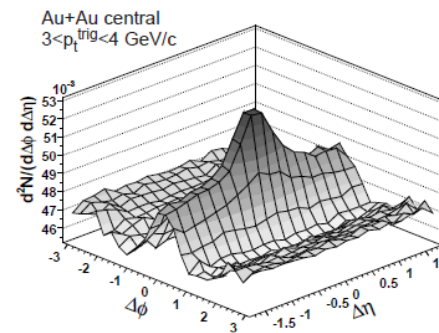
- Trouver le minimum de R
- Intégrer l'excès à gauche
- Grandit avec multiplicité



Vu où exactement ?

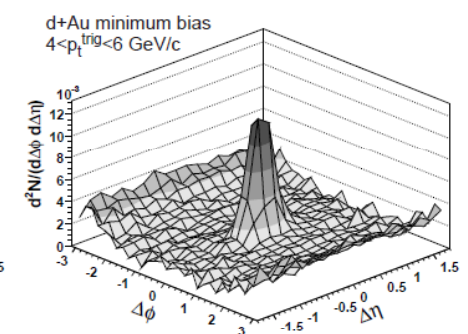
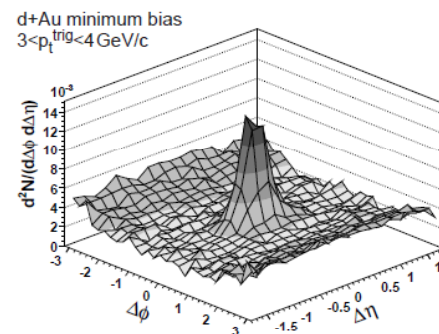
- Vu dans

- Collisions p+p @ 7 TeV, de haute multiplicité
- Collisions Au+Au et Cu+Cu @ 200 GeV



- Absent dans

- Collisions p+p @ 7 TeV de basse multiplicité
- Collisions p+p et d+Au @ 200 GeV

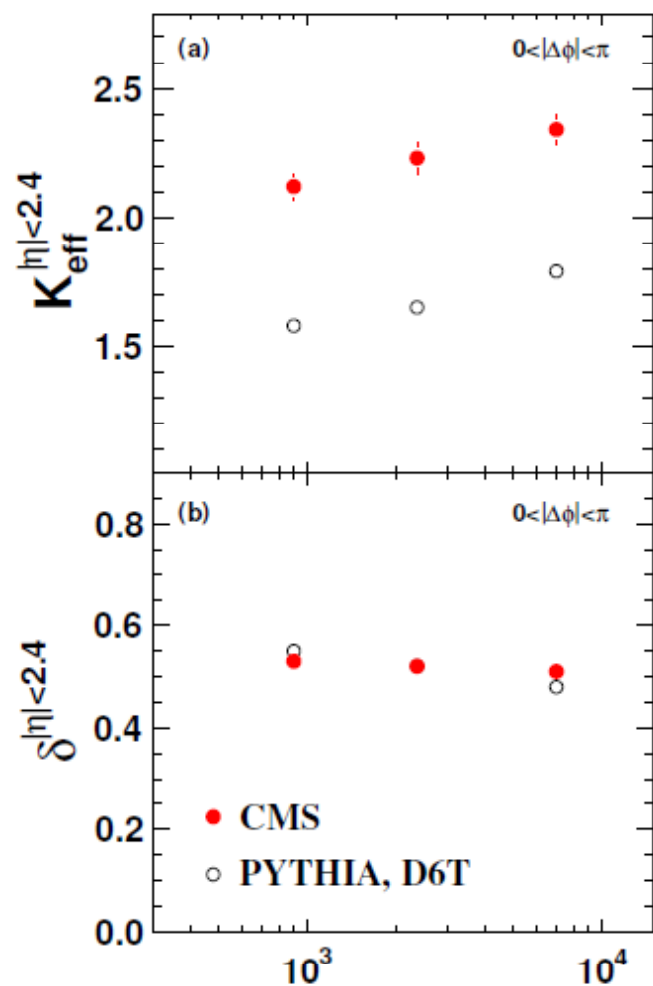


d+Au: STAR, PRC80 (2009) 064912 ↑
Cu+Cu: PHOBOS, PRC81 (2010) 024904

Paramétrisation des clusters

$$R(\Delta\eta) = \alpha \left[\frac{\Gamma(\Delta\eta)}{B(\Delta\eta)} - 1 \right]$$

\uparrow
 $\exp [-(\Delta\eta)^2 / (4\delta^2)]$
 \downarrow
 $K_{\text{eff}} = \alpha + 1 :$



En revanche...

What's the matter at RHIC? - raphael@in2p3.fr 23/04/2009

4. IDEAL HYDRODYNAMICS

✗ Ideal hydrodynamics...

- + QGP equation of state,
- + Early thermalization
 - ✗ (0.6 fm/c)
- + High density
 - ✗ ($\approx 30 \text{ GeV}/\text{fm}^3$)

✗ Little need for viscosity!

- + First estimations are
 - ✗ approaching the quantum limit $\eta/s = \hbar/4\pi$
 - ✗ lower than Helium at T_c

... reproduces fairly well

1. Single hadron p_T spectra
 - ✗ (mass dependence)
 - ✗ $\langle \beta_T \rangle \approx 0.6$

2. Elliptic flow

✗ Not the foreseen ideal partonic gas!

→ “sQGP” (s stands for strong, not super 😊)

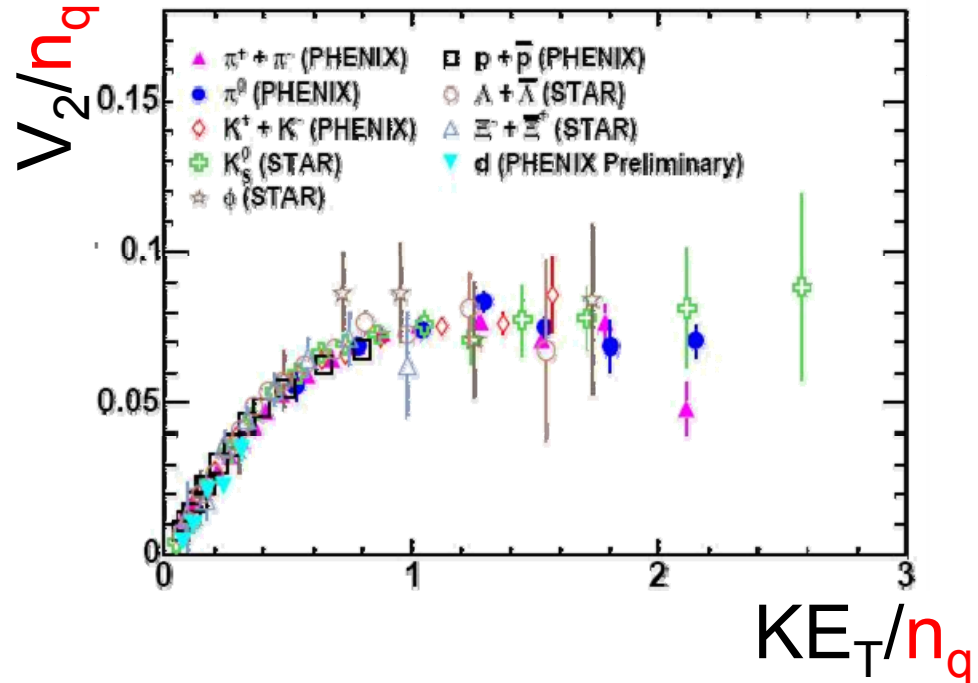
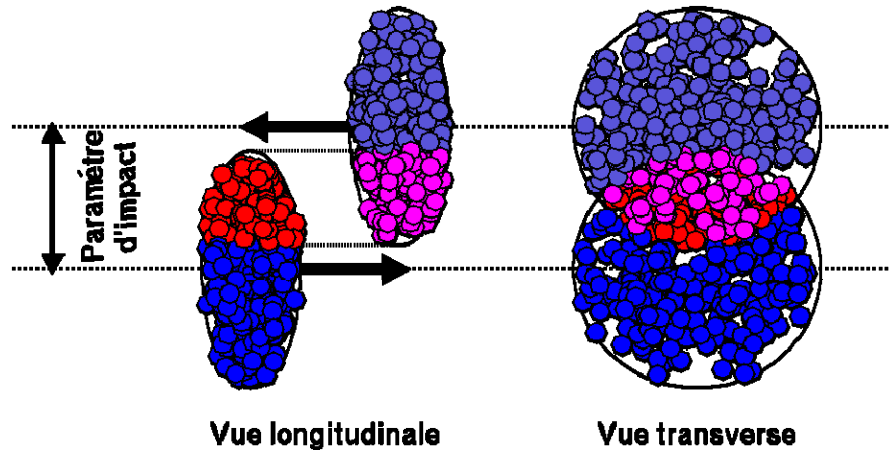
→ “Perfect fluid”

→ The matter is strongly interacting and liquid like @ LHC, could it approach a quark gluon gas?

26

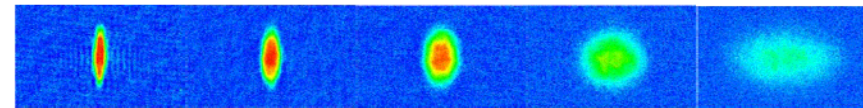


Par exemple : le flot elliptique



PHENIX, PRL98 (2007) 162301

- Asymétrie initiale en ϕ
+ gradient de pression
= Asymétrie finale en ϕ
- Mesure de $v_2 = \langle \cos 2\phi \rangle$
– $\phi = \phi_{\text{part}} - \phi_{\text{réaction}}$



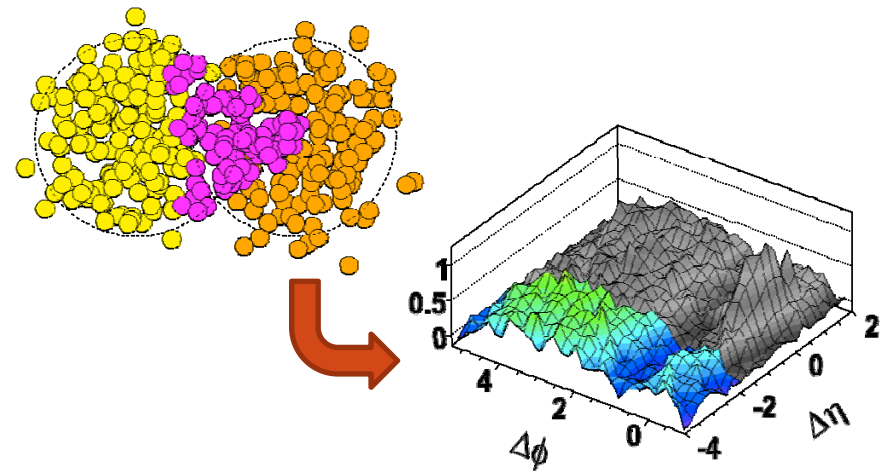
(atomes ultrafroids après ouverture du piège)

1. Un « ridge » dû au flot ?

- Idée : l'explosion « pousse » des clusters dans une direction azimutale donnée
- Effets de flot maximum à la bonne échelle :
 - $1 < p_T < 3 \text{ GeV}/c$
- Ok pour A+A, hydro atteinte pour p+p ?

Shuryak, arXiv:1009.4635

- Un exemple : flux triangulaire dû aux fluctuations géométriques peut contribuer

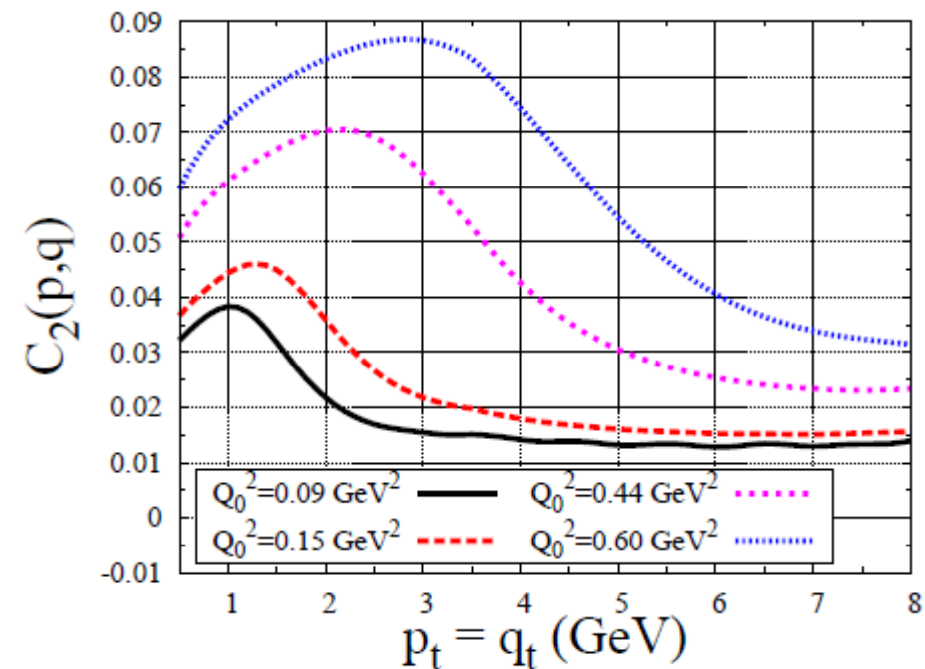


Alver & Roland, arXiv:1003.0194
To appear in Phys. Rev. C

2. au « Glasma » ?

- À haute énergie, saturation de gluon
- « Colour Glass Condensate » comme état initiale des collisions
- Flux de couleur
- Expliqueraient le ridge en A+A et p+p ?

Dumitru et al, arXiv:1009.5295



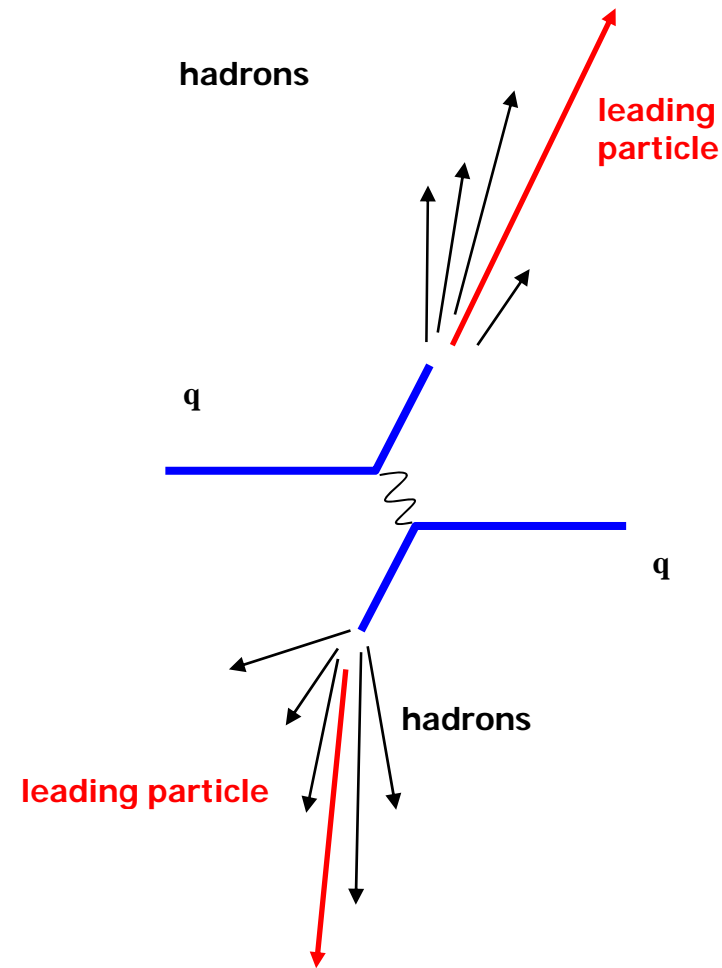
$Q_0^2 \approx$ multiplicité

$C_2 \approx$ corrélation

$q_t = p_t$ du gluon

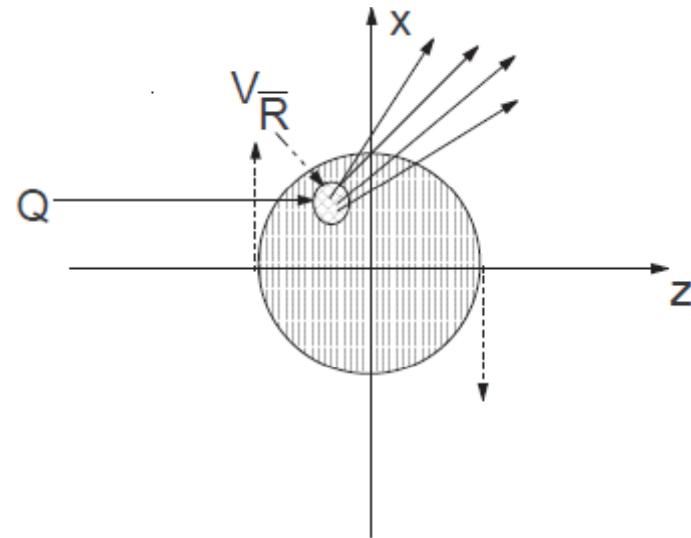
3. aux jets ?

- 5-6 (mini)jets dans les événements p+p de haute multiplicité, c'est nouveau !
- Partons initiaux colorés
- Connectés par des flux de couleur qui produiraient des particules dans leur plan ?
- Événements à trois jets ?
- À suivre...



4. À quoi d'autre ?

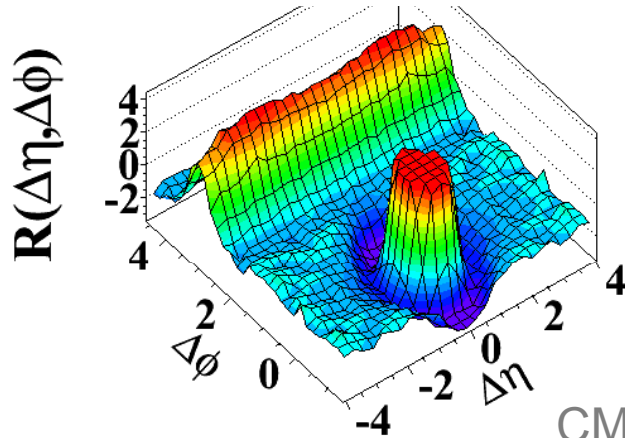
- « *We briefly comment on the ridge-like structure origin in the nuclear and hadronic reactions emphasizing that this structure [...] can result from the rotation of the transient state of matter* »



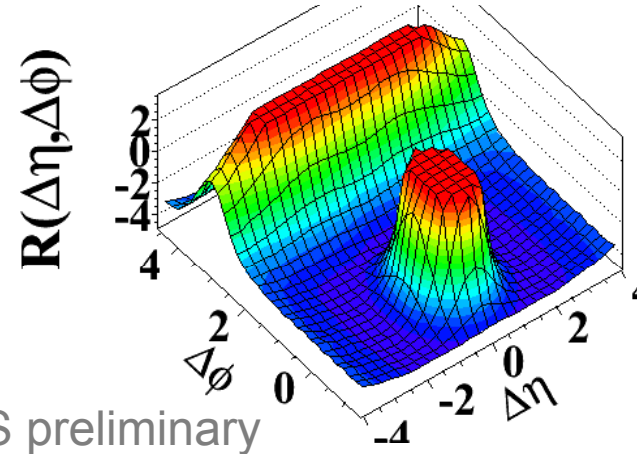
Troshin and Turyin, arXiv:1009.5229

Autres générateurs

PYTHIA D6T MinBias, $N > 70$



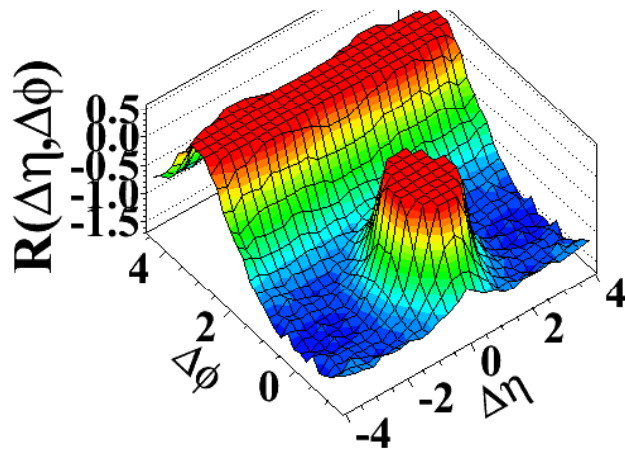
PYTHIA D6T, Dijet 80-120GeV



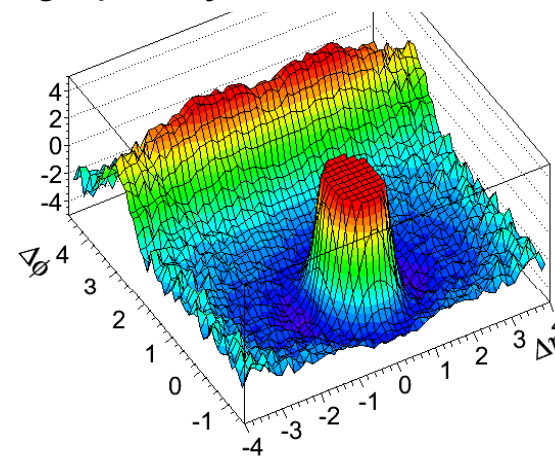
CMS preliminary

$1 < p_T < 3 \text{ GeV}/c$

HERWIG++, $N > 110$



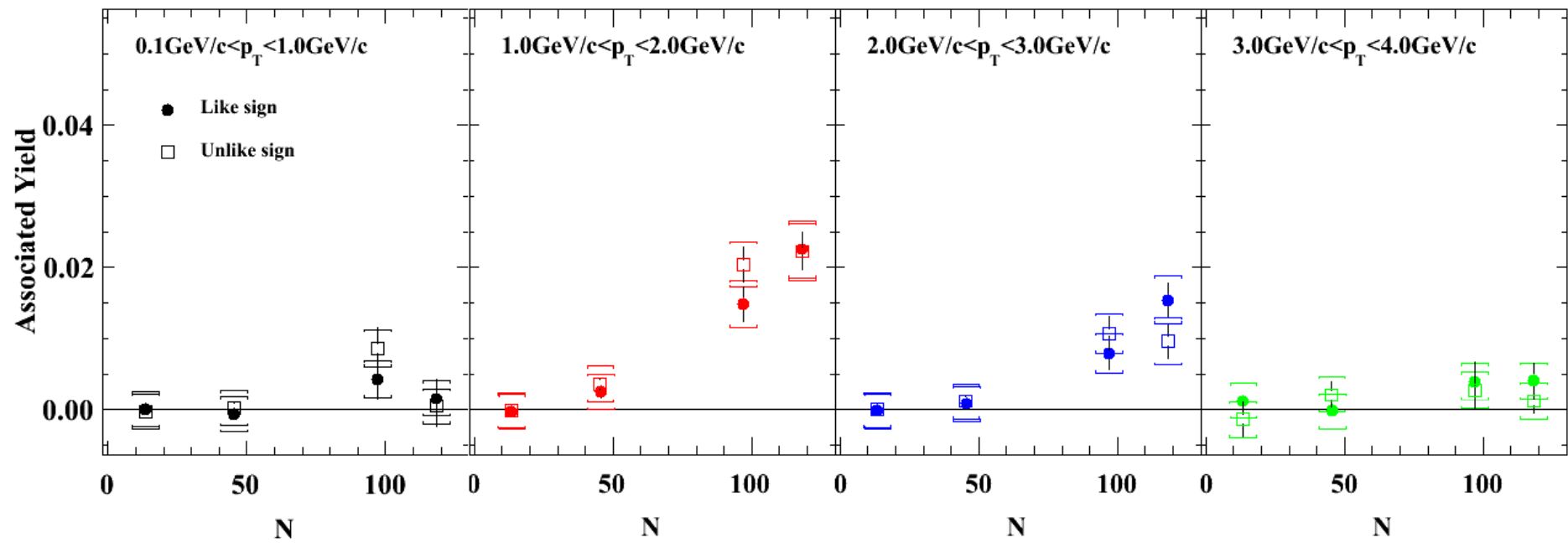
Madgraph, Dijet 100-250GeV, $N > 90$



No ridge effect in these models (with the tunes used)

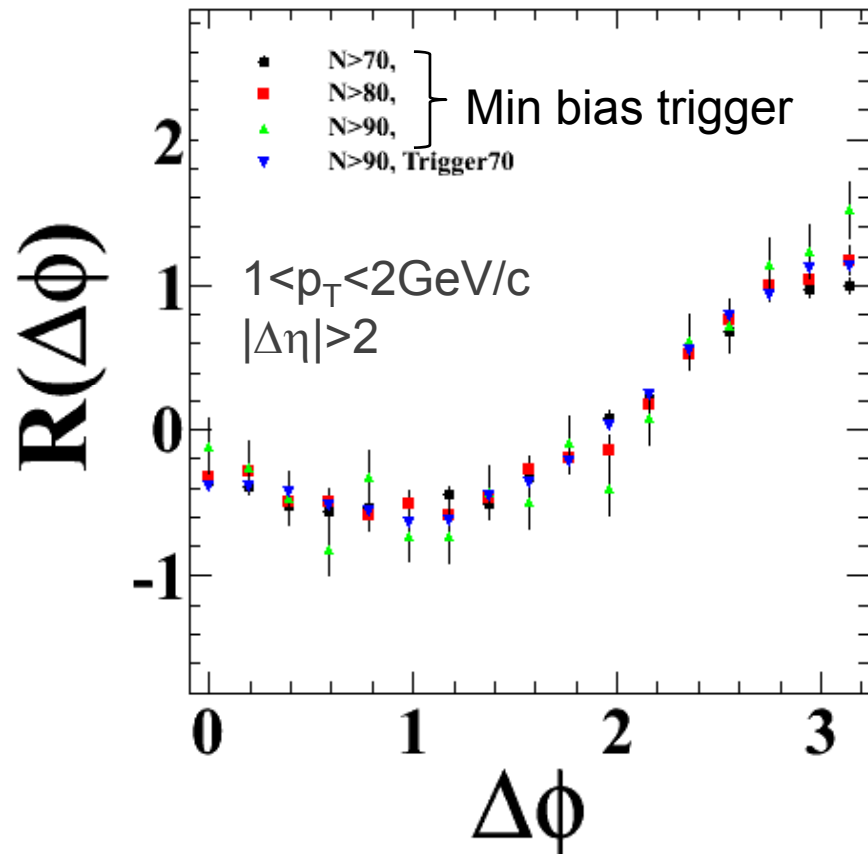
Signes identiques et opposés

- Pas de différence notable

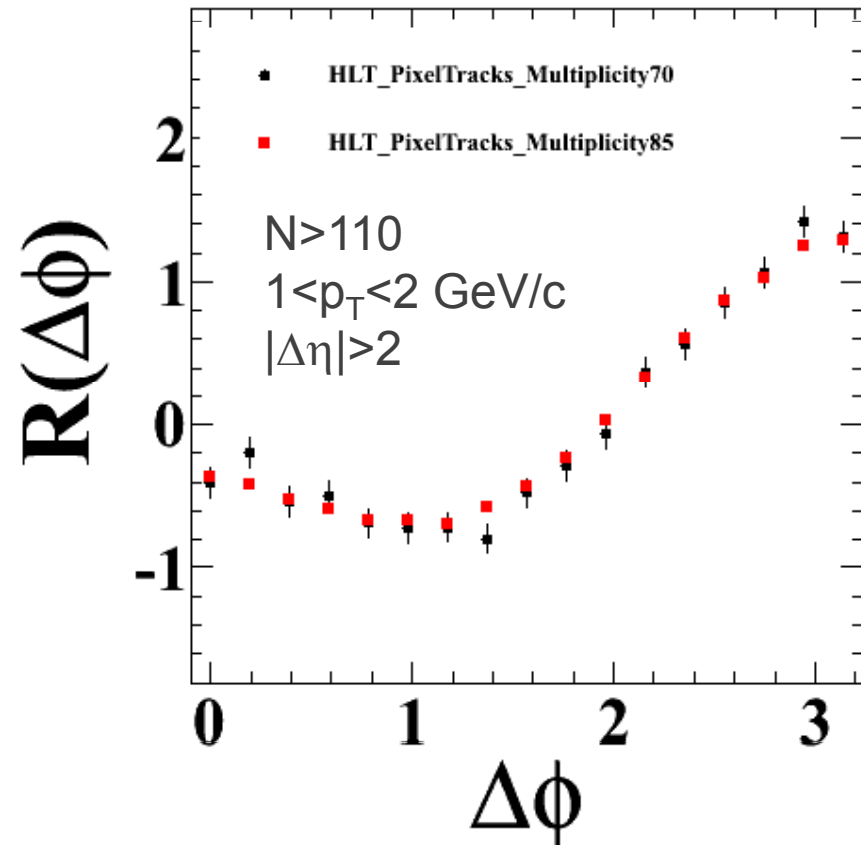


Déclenchements

Biais minimum vs haute multiplicité

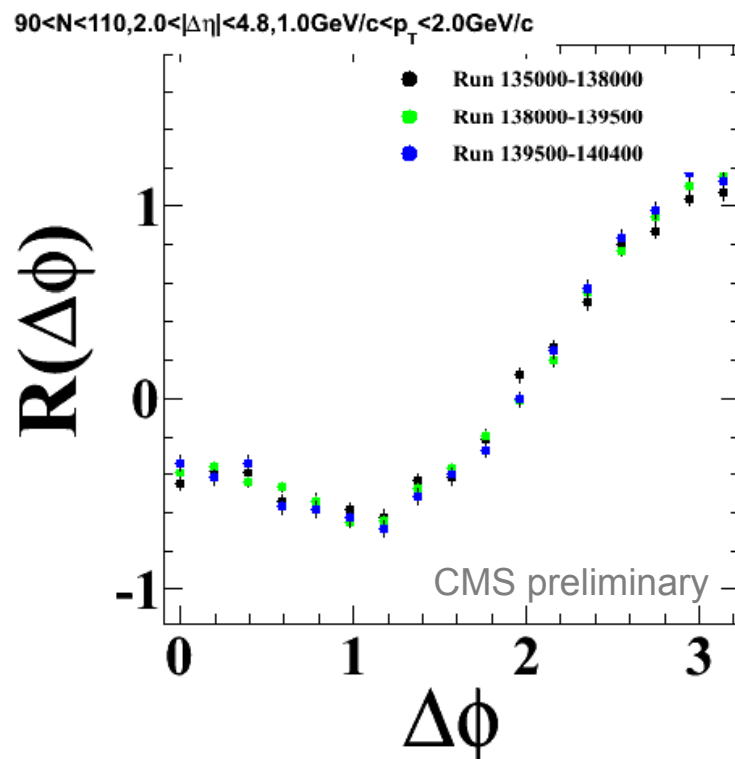


HLT 70 vs HLT 85 pour $N > 110$

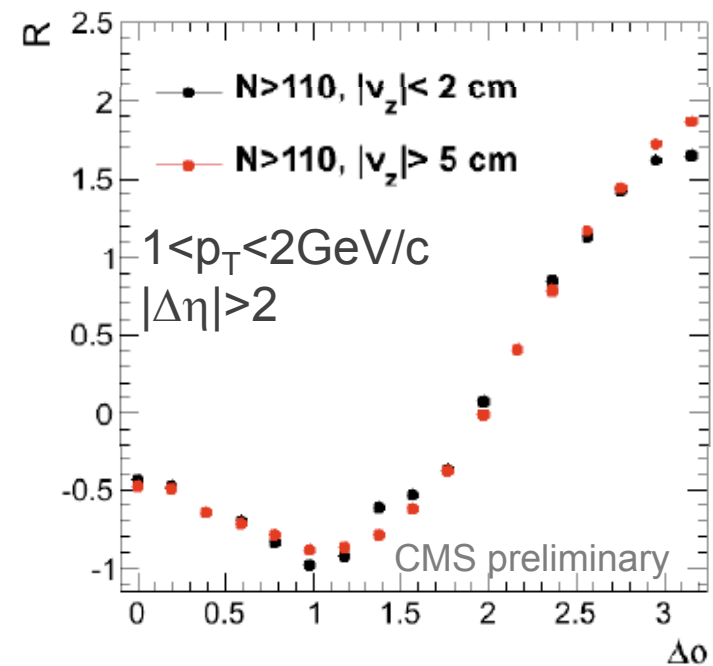


Empilement

Différentes périodes
Empilement varie d'un facteur 4-5

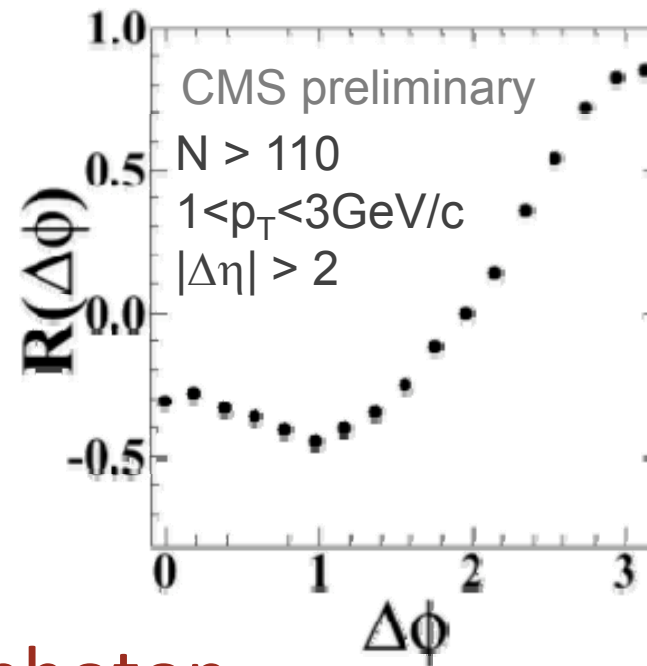
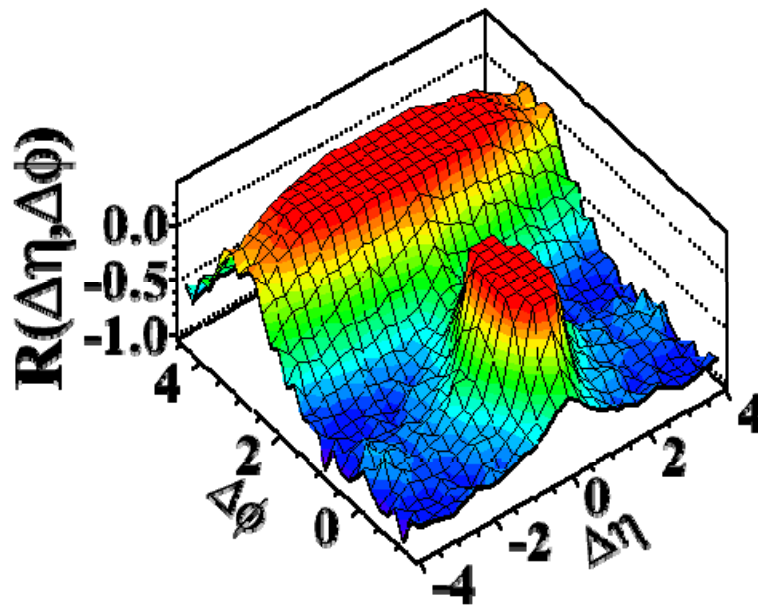


Differentes zones de vertex
(Empilement ~ dN/dvtx_z)



Test ultime : mesure calorimétrique

- Le ridge apparaît aussi avec des « photons » !
 - Cluster Ecal, majoritairement des π^0
 - Préliminaire (pflow, pas d'efficacité, de correction...)



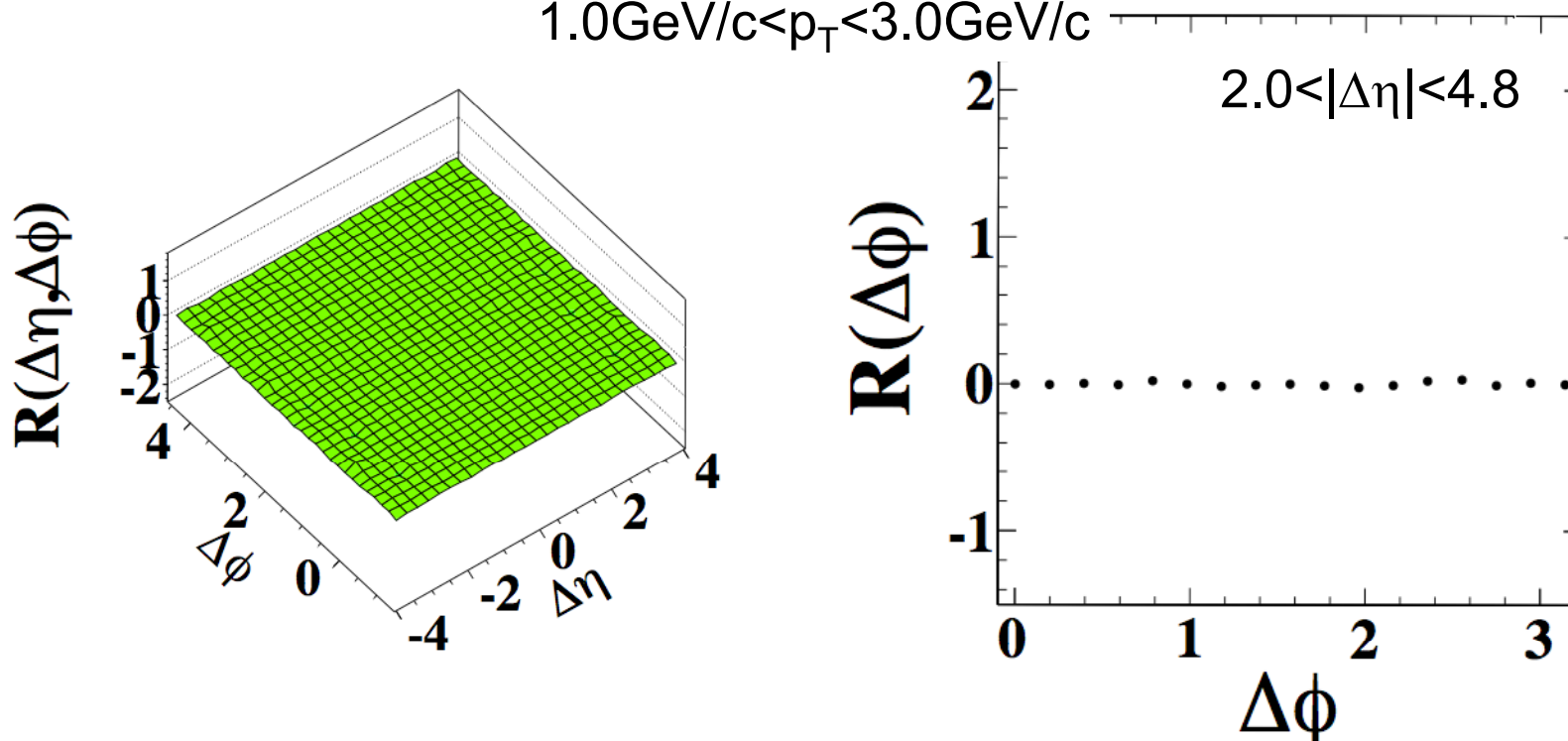
- Également en trace + photon

Event Backgrounds

Correlate tracks from high multiplicity vertex with tracks from different collision (vertex) in same bunch crossing

$N > 110$

$1.0 \text{ GeV}/c < p_T < 3.0 \text{ GeV}/c$



No background or noise effects
seen in cross-collision correlations

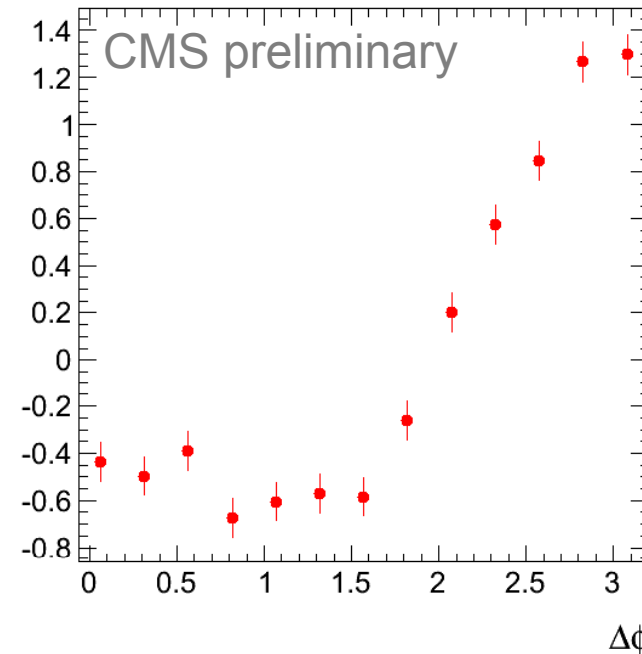
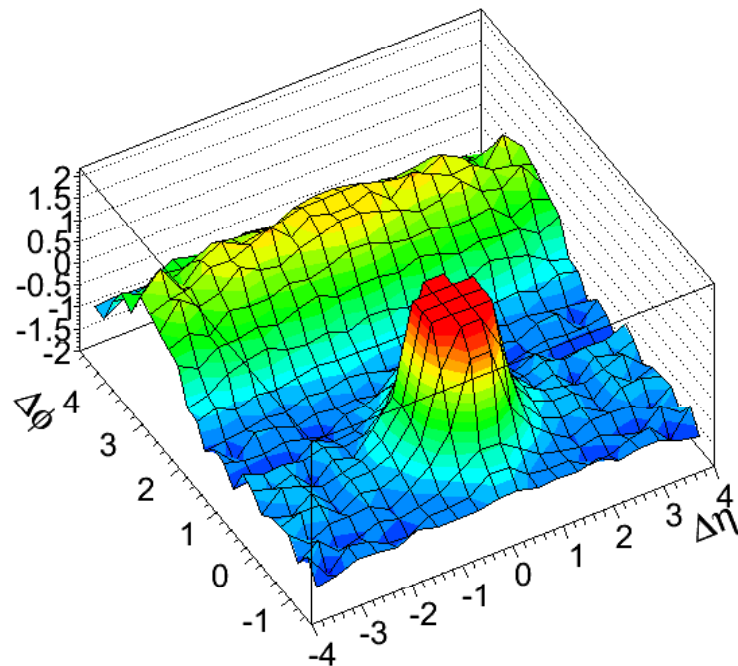
BSC High Multiplicity Trigger

Preliminary results from BSC high multiplicity trigger

$N > 65$

$|\Delta\eta| > 2.0$

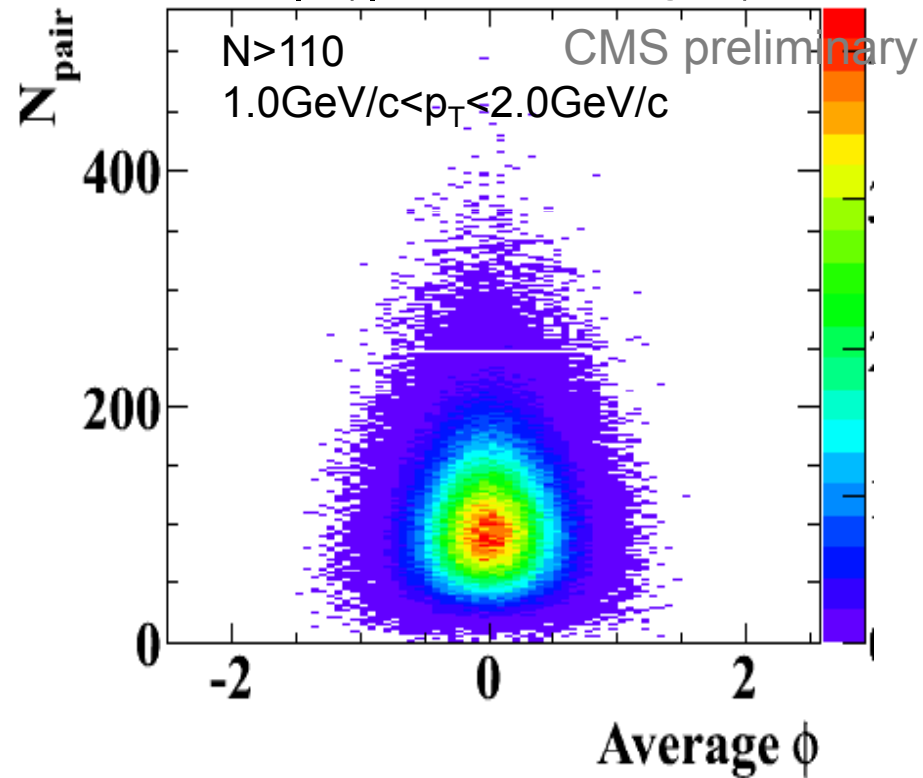
$1.0 \text{ GeV}/c < p_T < 3.0 \text{ GeV}/c$



Agreement with standard results within statistical uncertainty

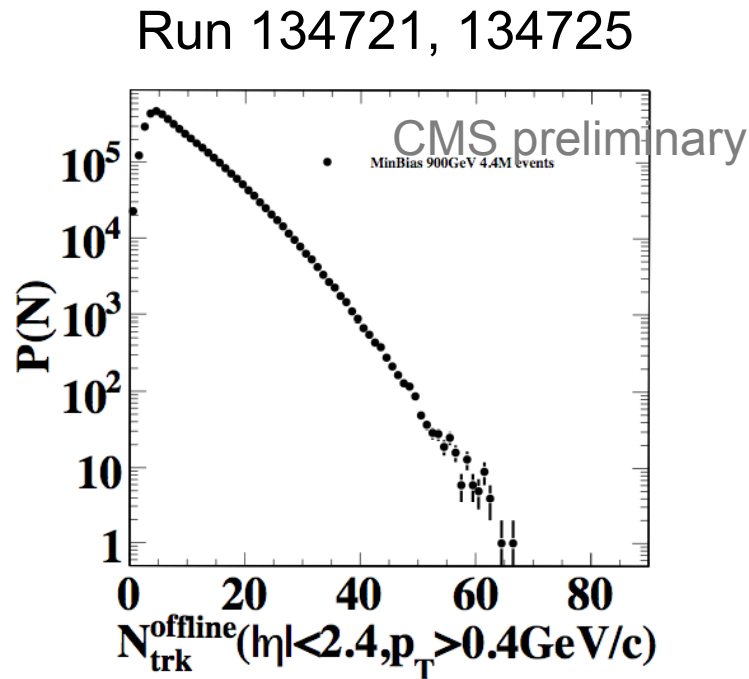
ϕ Symmetry

Pair multiplicity at $|\Delta\eta|>2$
and $|\Delta\phi|<1$ vs average ϕ



No indication of “hot spots” in event-by-event ϕ distribution

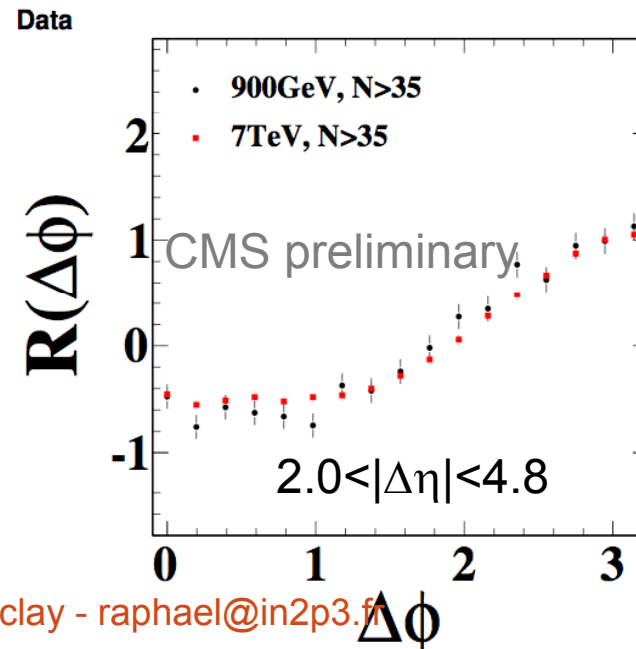
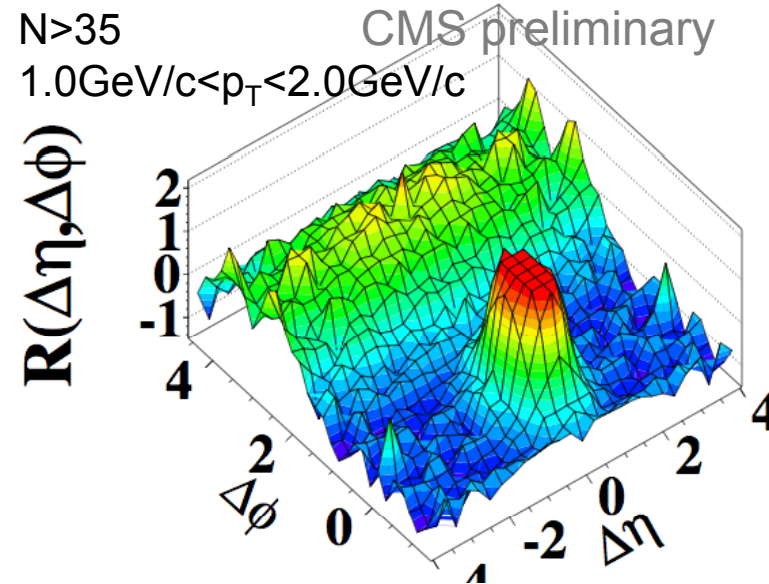
Preliminary 900 GeV Analysis



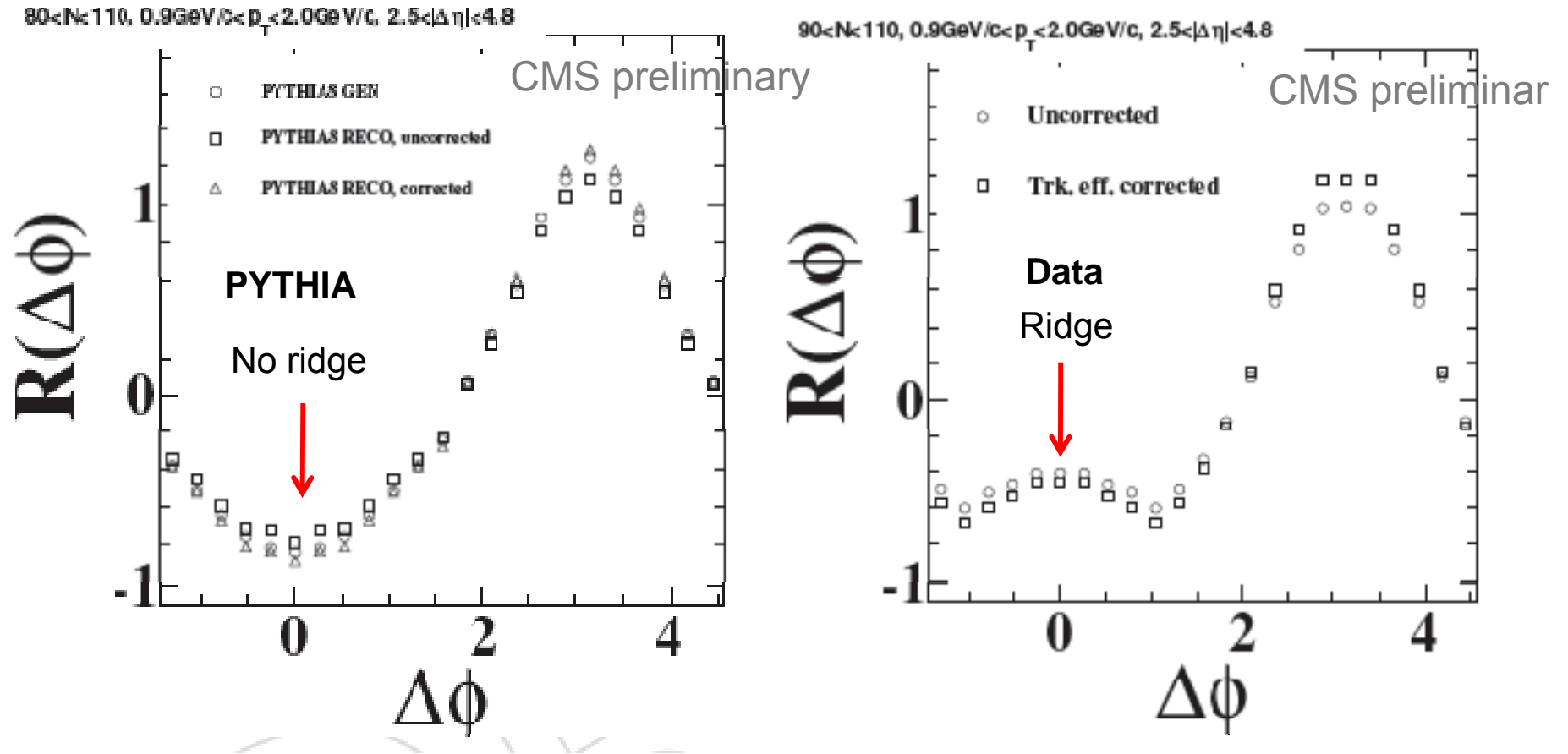
Limited statistics for high multiplicity events in 900GeV

Two energies agree within large uncertainties

82 janvier 2011

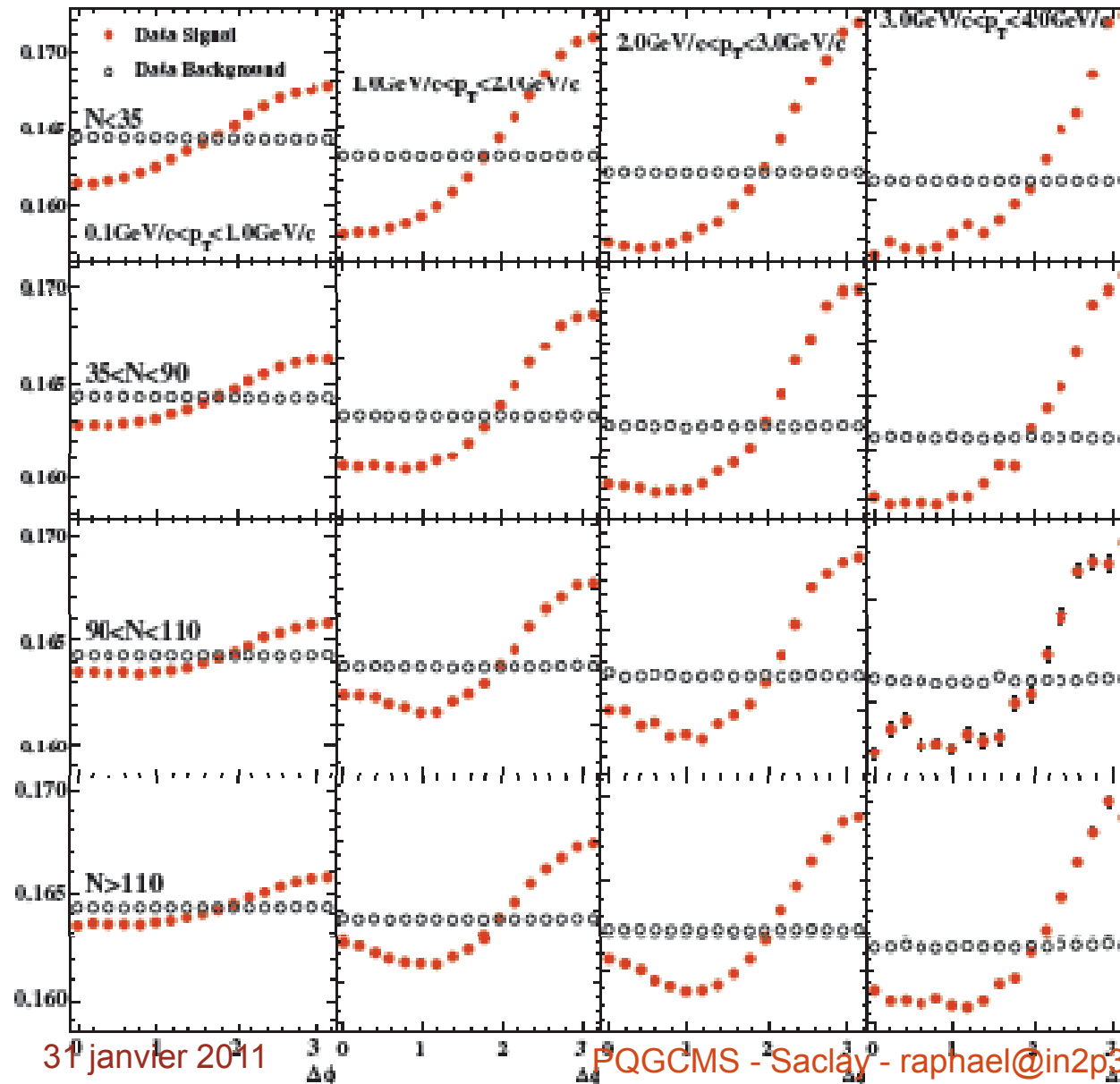


Efficiency Correction



Tracking efficiency correction has small effect on correlation function

Signal and Background



Signal is visible in raw data before dividing by (flat) background

Plasma testable en p+p

Eccentricity fluctuations make flow measurable in high multiplicity p-p collisions

Jorge Casalderrey-Solana¹ and Urs Achim Wiedemann¹

¹ *Physics Department, Theory Unit, CERN, CH-1211 Genève 23, Switzerland*

Elliptic flow is a hallmark of collectivity in hadronic collisions. Its measurement relies on analysis techniques which require high event multiplicity and could be applied so far to heavy ion collisions only. Here, we delineate the conditions under which elliptic flow becomes measurable in the samples of high-multiplicity ($dN_{\text{ch}}/dy \geq 50$) p-p collisions, which will soon be collected at the LHC. We observe that fluctuations in the p-p interaction region can result in a sizable spatial eccentricity even for the most central p-p collisions. Under relatively mild assumptions on the nature of such fluctuations and on the eccentricity scaling of elliptic flow, we find that the resulting elliptic flow signal in high-multiplicity p-p collisions at the LHC becomes measurable with standard techniques.

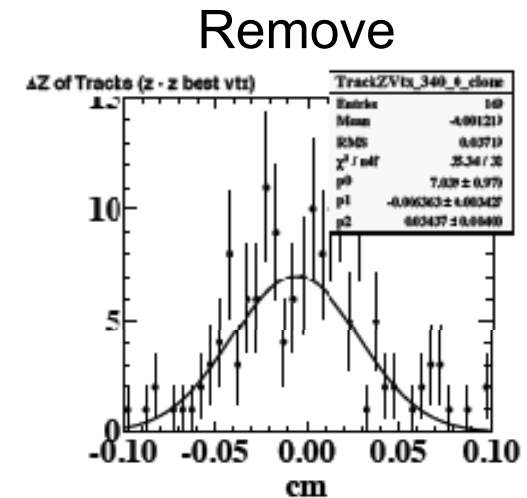
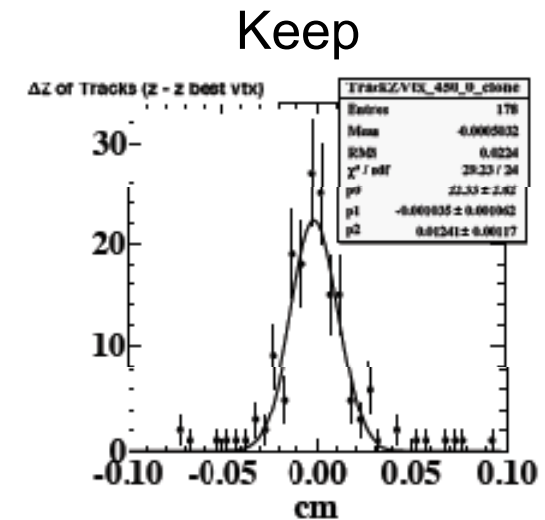
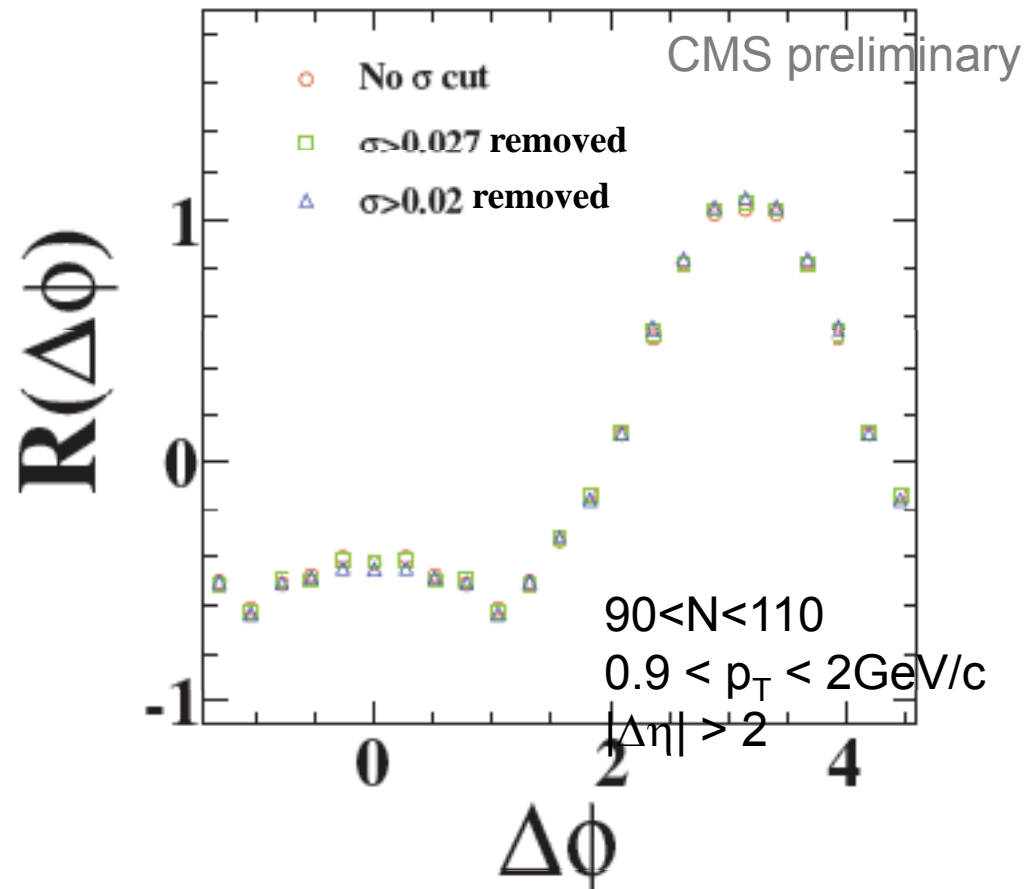
Wiedemann and Casalderrey-Solana
PRL104 (2010) 102301

Nombreuses autres vérifications

- Cf. présentation du CERN pour détails
- (diapositives de secours)

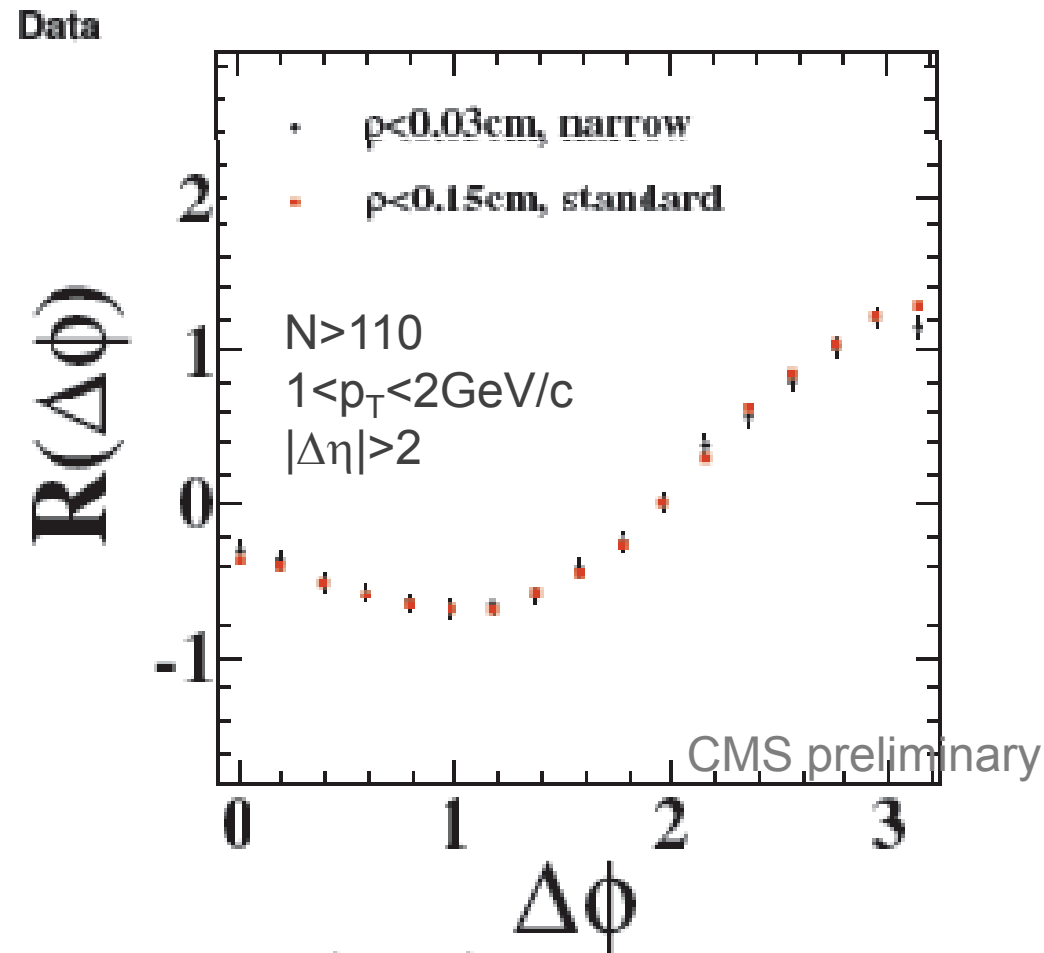
Sources	Syst. on ridge yield
Pileup	15%
HLT efficiency	4-5%
Tracking	1-2%
ZYAM	0.0025

Rejection of “Wide Vertices”



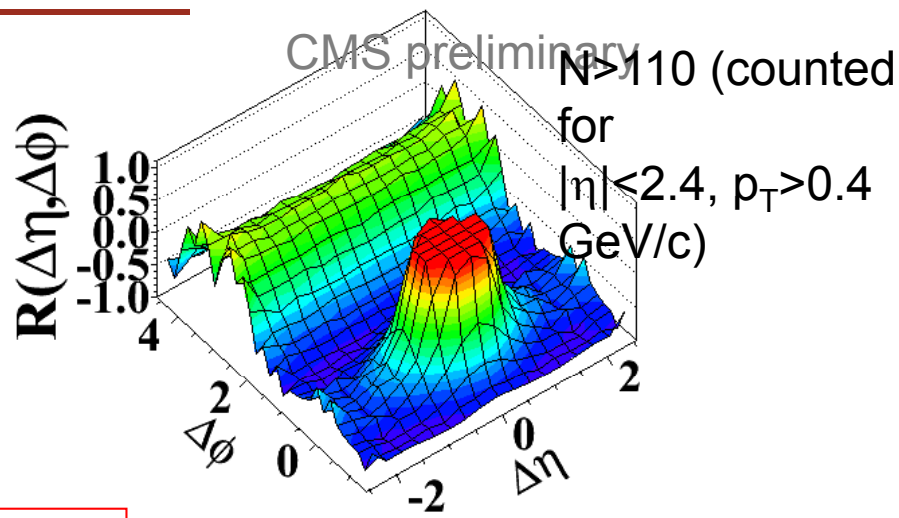
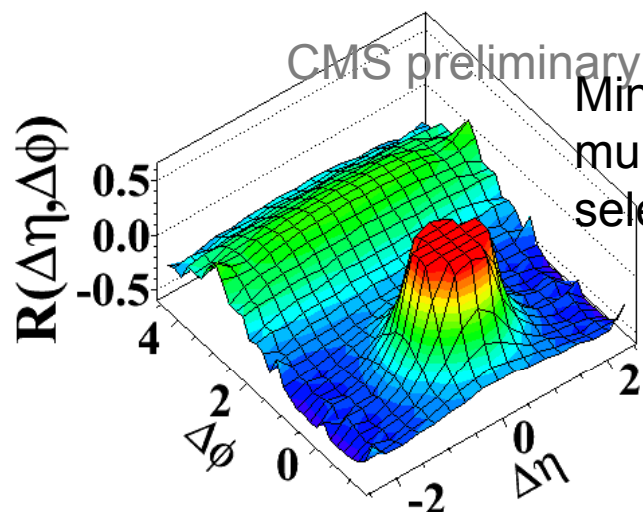
Removing events with “suspicious” vertex distributions does not change result

Select Beamspot “Core”

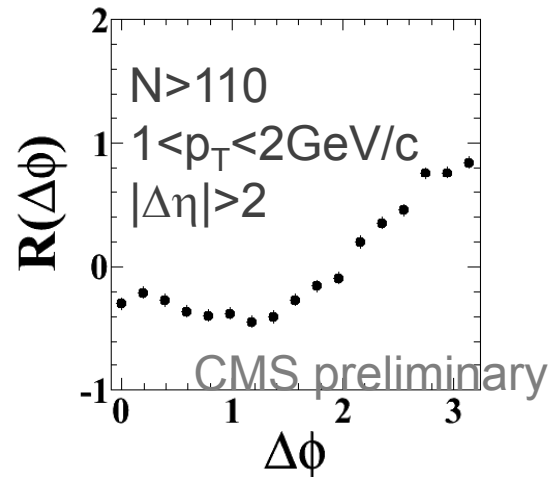
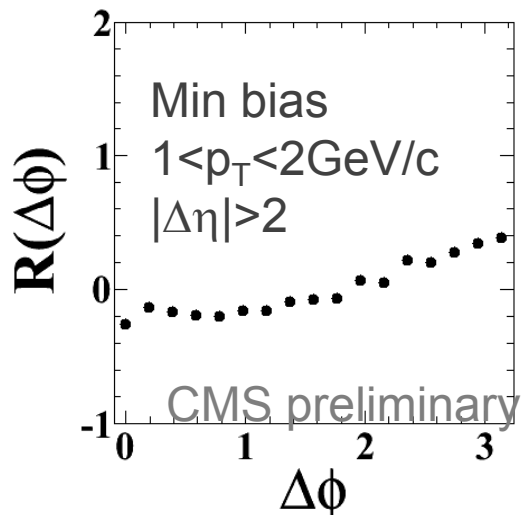


No dependence on radial distance from center of beam

Acceptance Variation



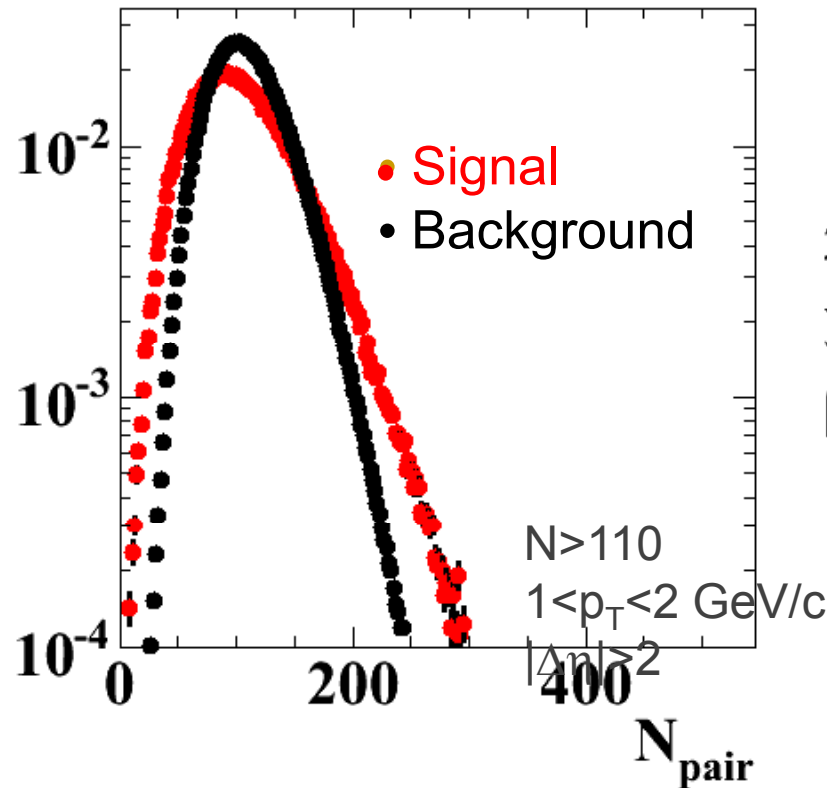
$|\eta| < 1.2$



Ridge also seen in reduced acceptance
(but with larger statistical uncertainty)

Detector

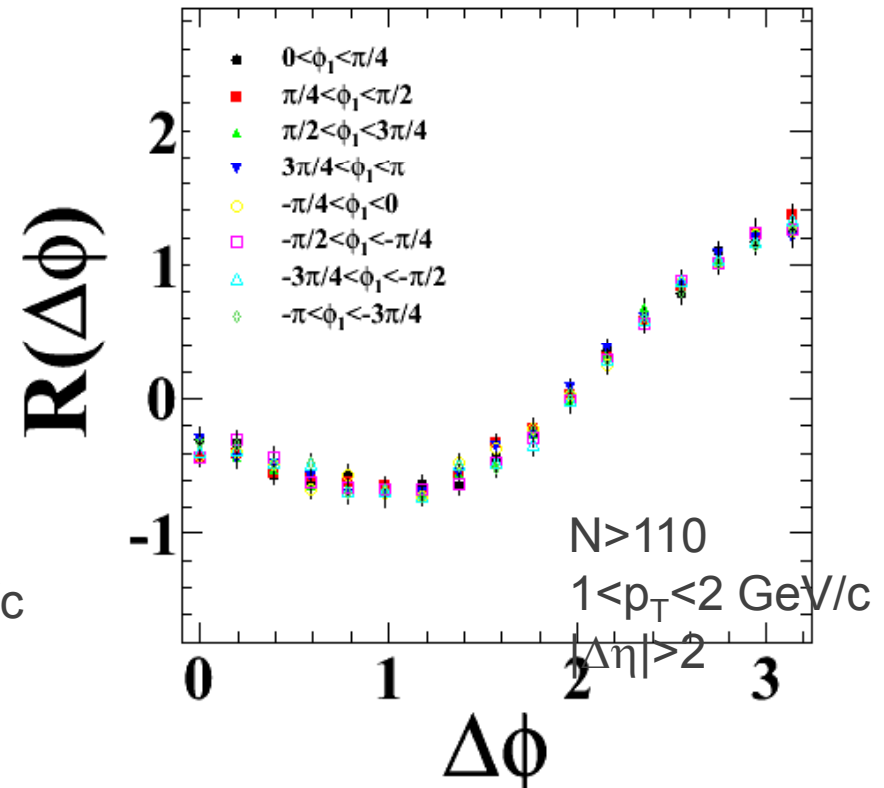
Pair multiplicity distribution
for $|\Delta\eta|>2$ and $|\Delta\phi|<1$



Ridge is not caused by rare events with large # of pairs

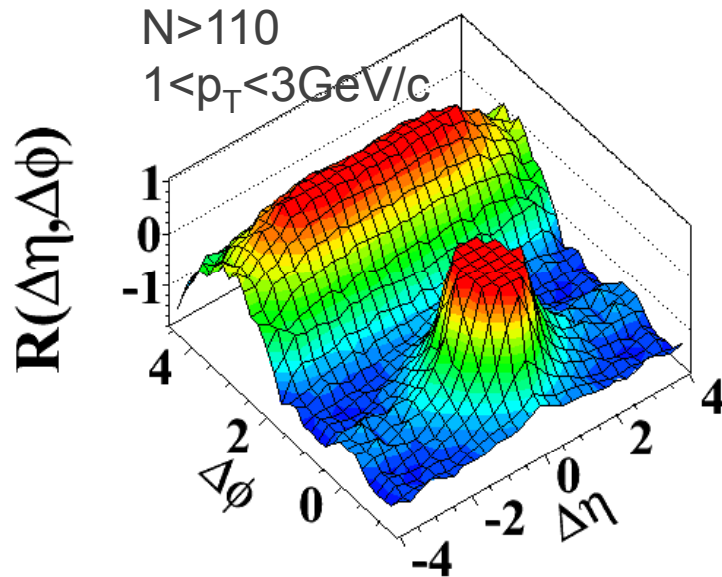
Constrain one track to one ϕ octant

Data



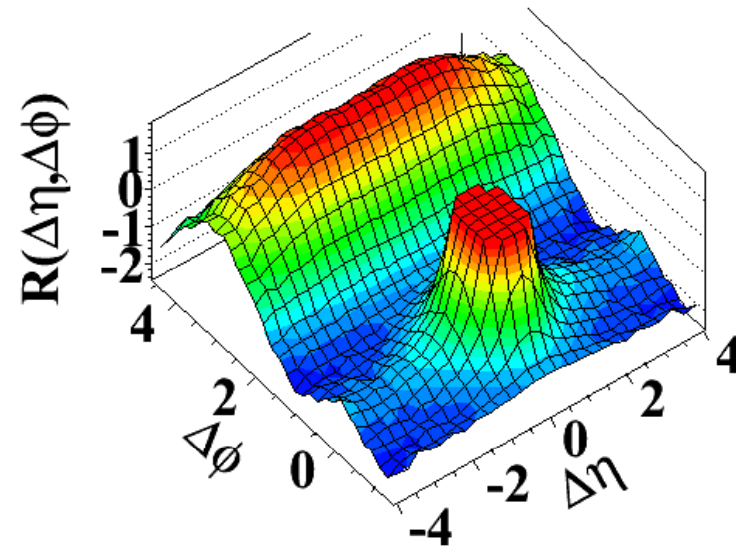
Ridge is ϕ symmetric

Reconstruction Code



Pixel-only tracks
3 hits in pixel detector

(d) $N > 110$, $1.0 \text{ GeV}/c < p_T < 3.0 \text{ GeV}/c$



“HighPurity” tracks
Pixel + Silicon Strip tracker

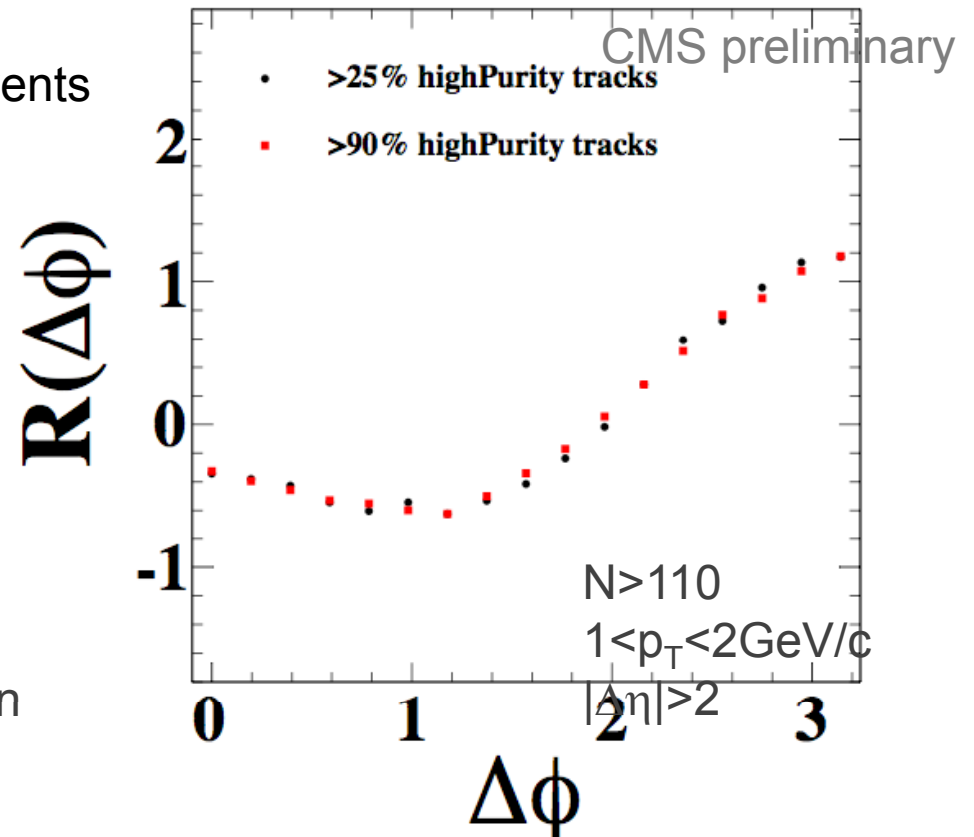
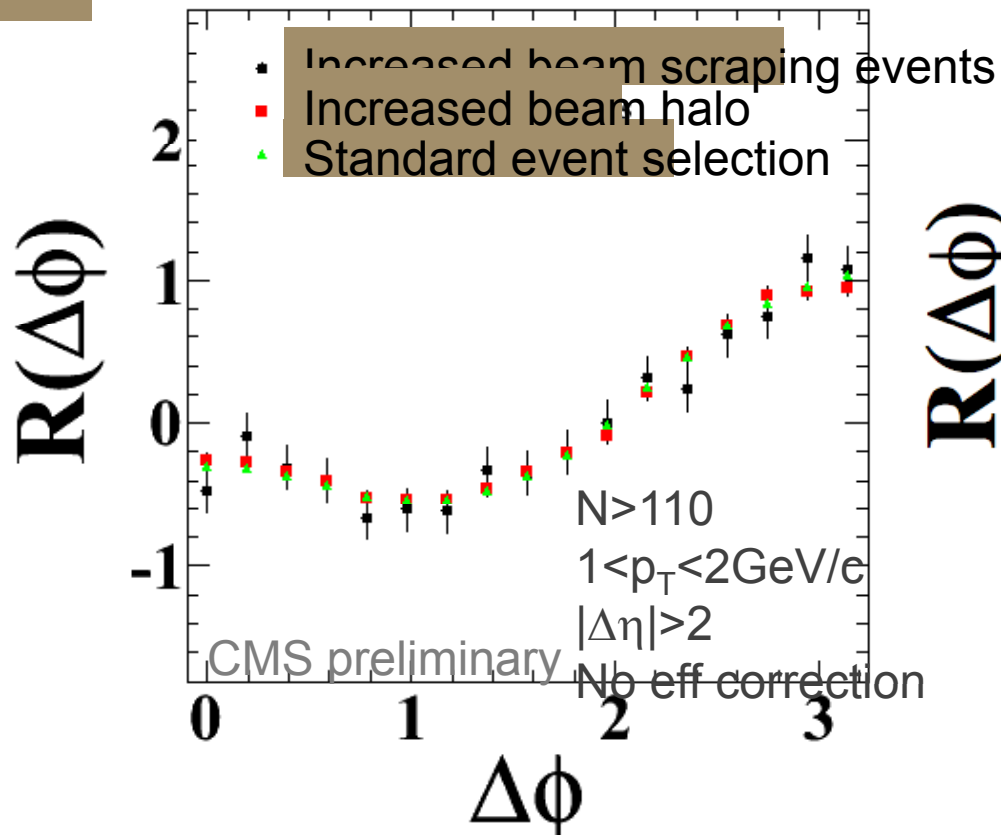
(Largely) independent code
Independent detectors

Also: Variation of tracking + vertexing parameters

Event Backgrounds

Select higher fraction of possible beam-gas or beam-scraping events

Reject beam background by veto on fraction of low quality tracks

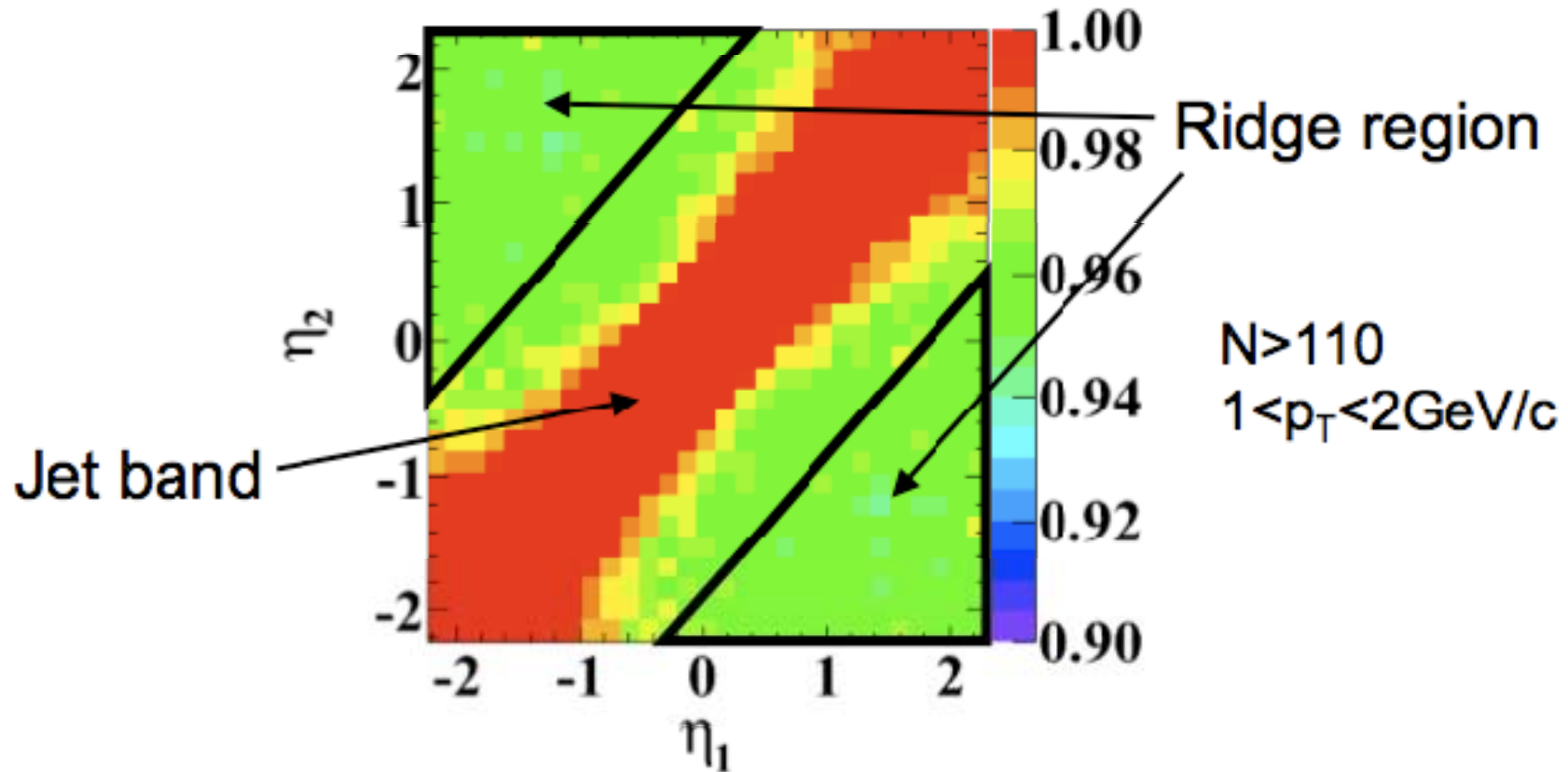


Ridge region shows no sensitivity to beam background

Note: Analysis is done on HighPurity tracks

Detector

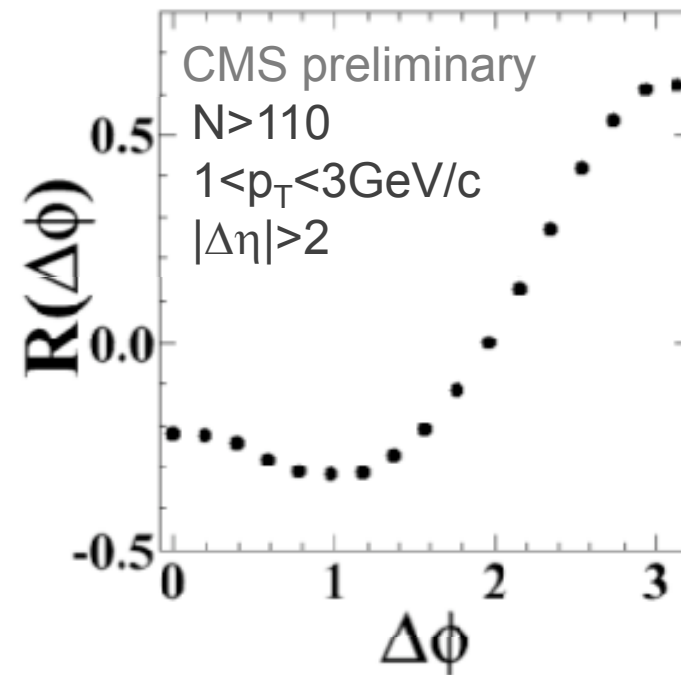
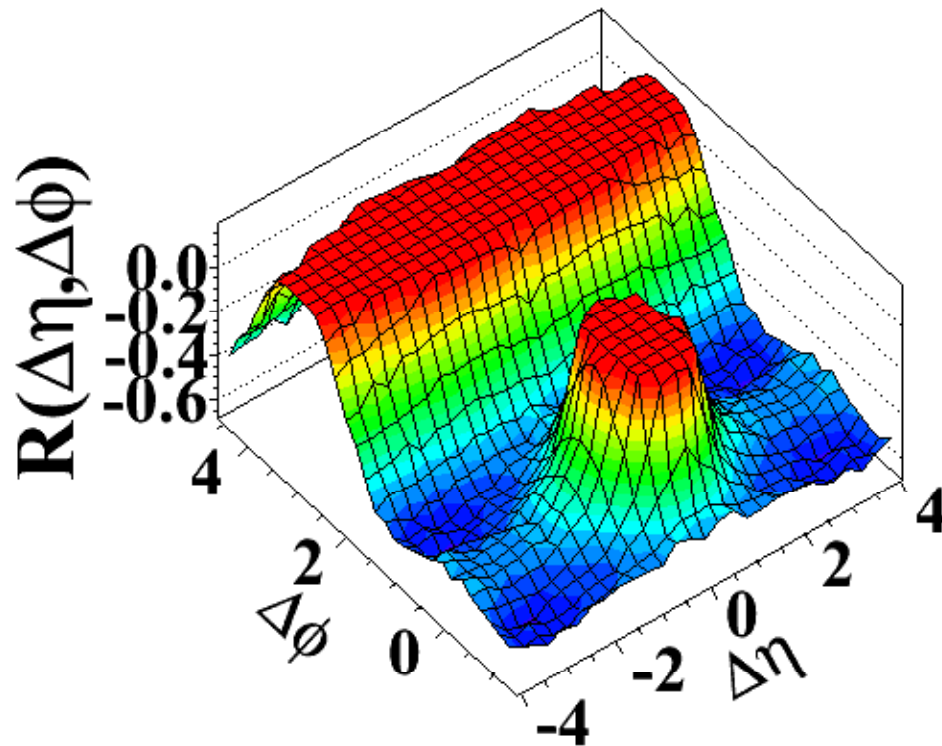
η_1 vs η_2 correlations for near-side ($|\Delta\phi| < 1$)

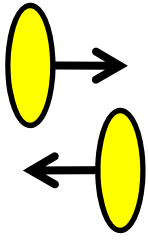


Ridge region shows no structure in η_1 vs η_2

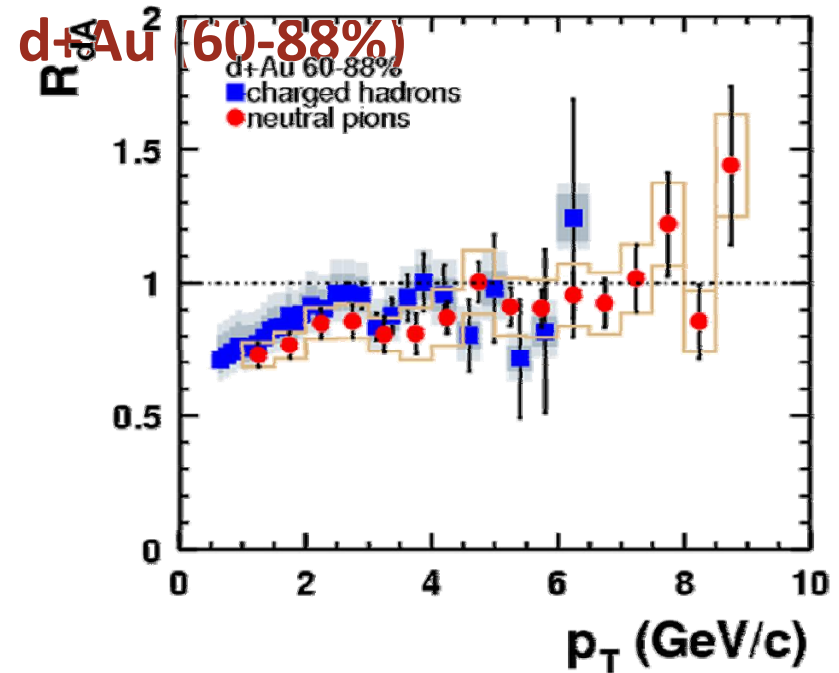
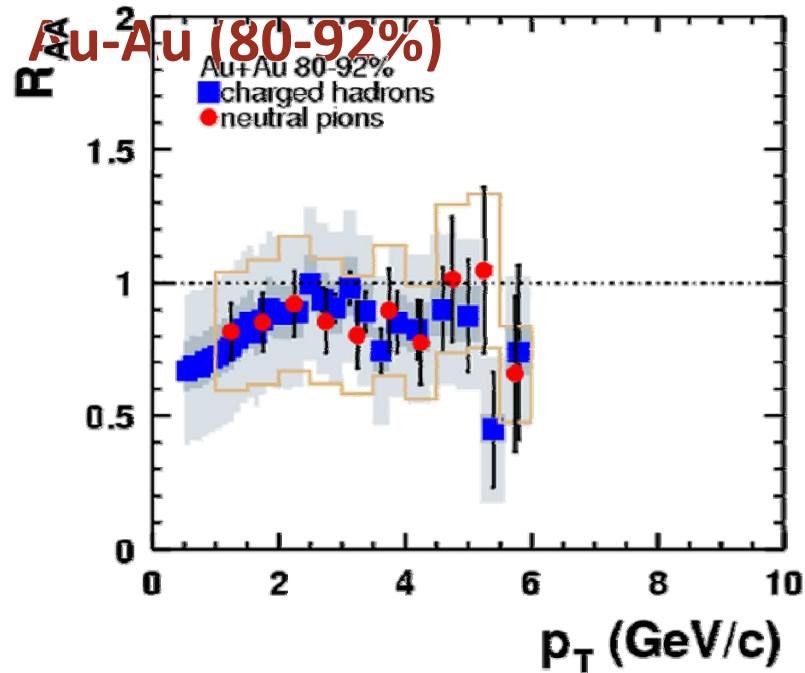
Trace + Photon

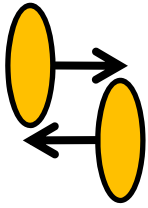
- Le ridge apparaît en corrélant avec un photon
 - Préliminaire (pflow, pas d'efficacité, de correction...)



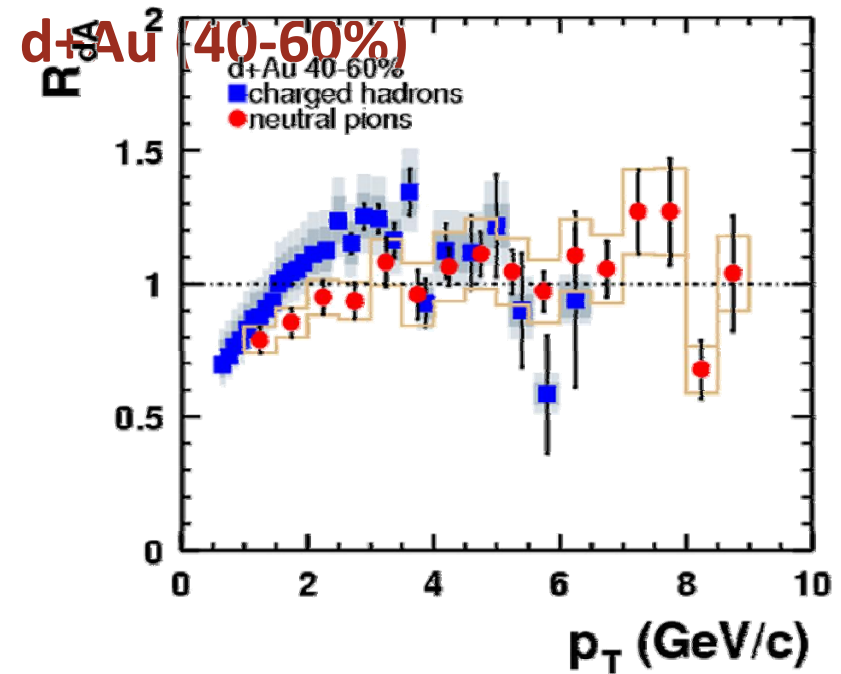
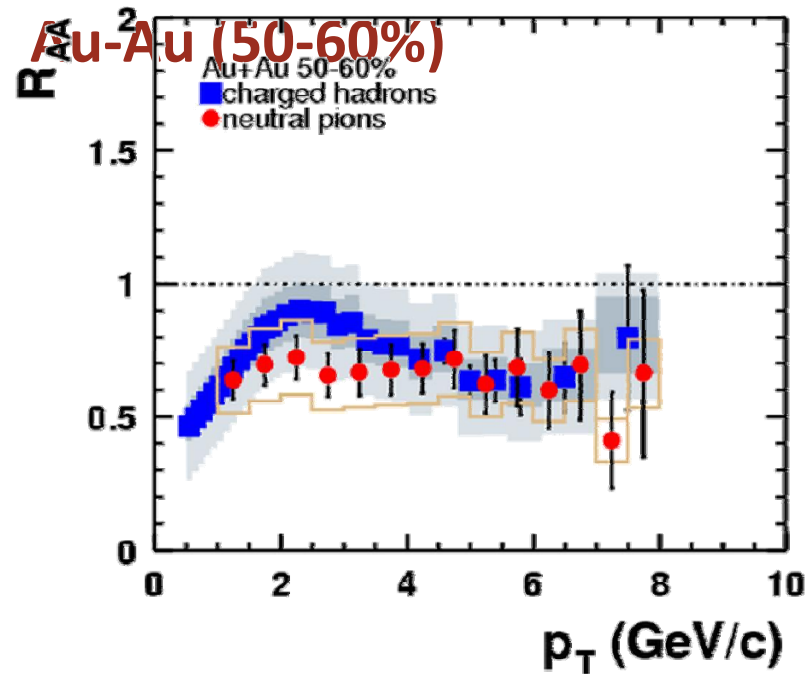


Most peripheral collisions...

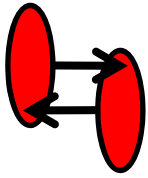




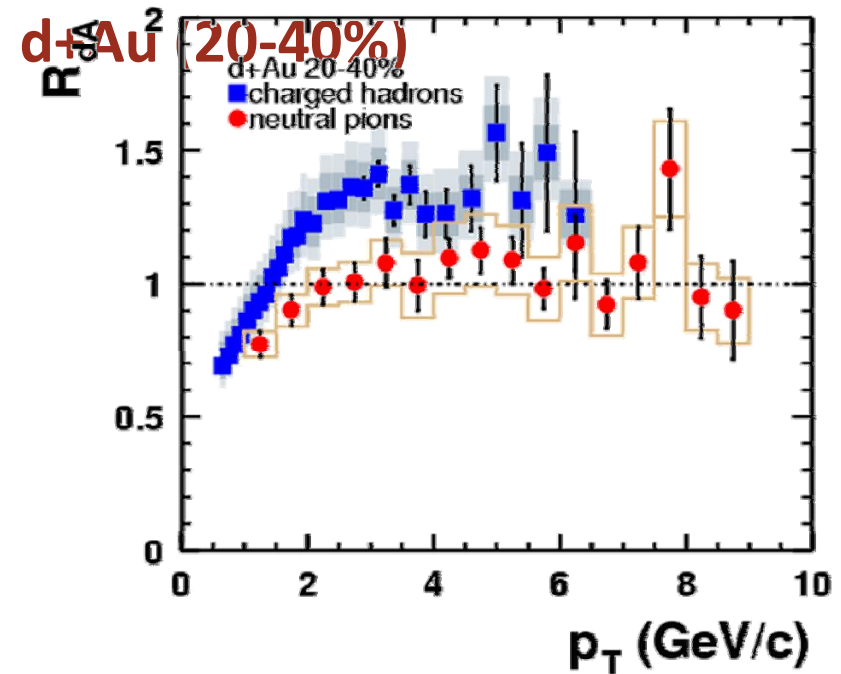
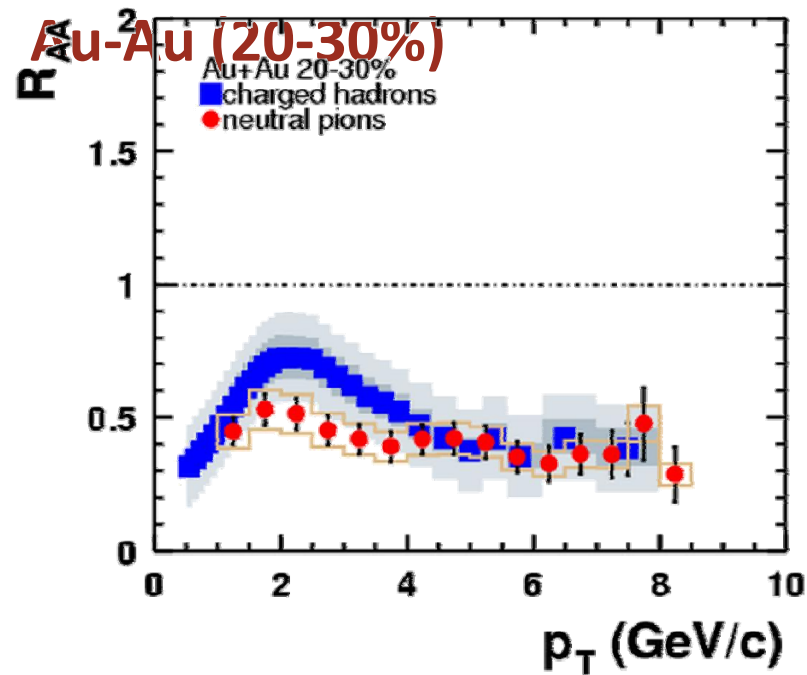
Less peripheral collisions...



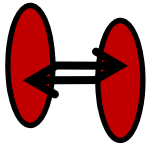
(slightly old, but pedagogical, data) PHENIX, PRL 91 (2003) 072303
31 janvier 2011 PQQCMS - Saclay - raphael@in2p3.fr



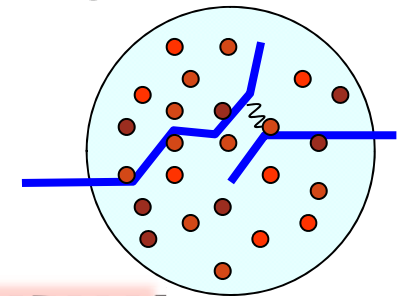
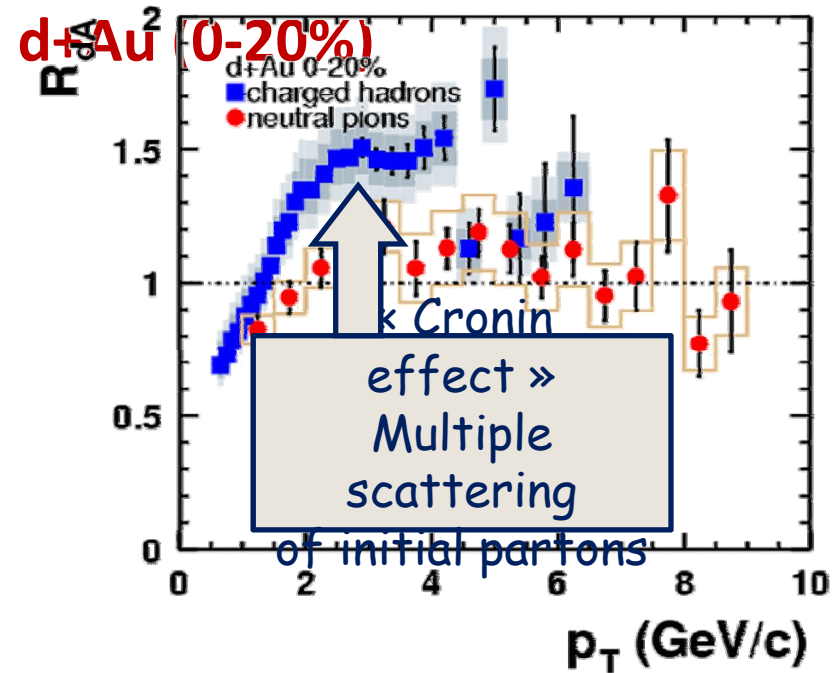
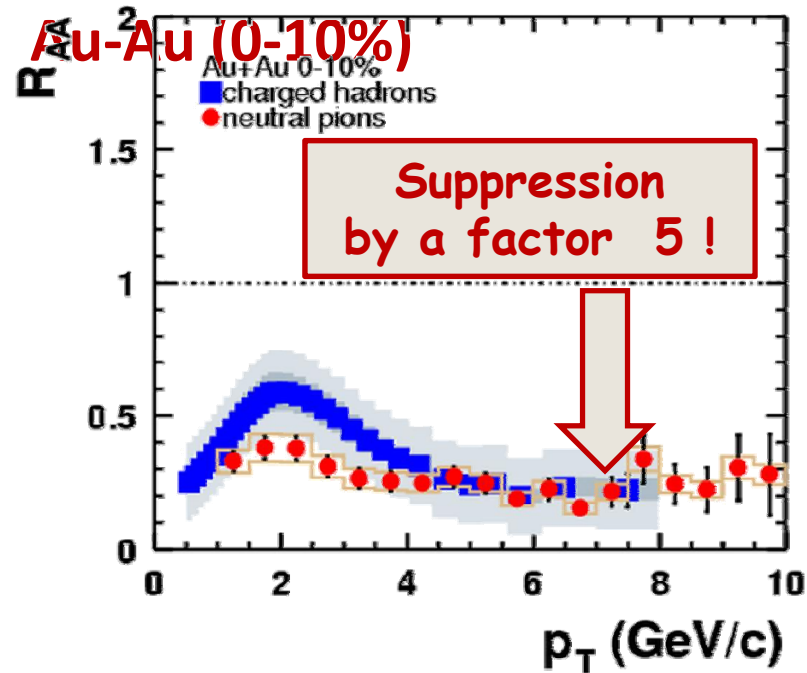
MoRE CeNTRAL collisions...



(slightly old, but pedagogical, data) PHENIX, PRL 91 (2003) 072303
31 janvier 2011 PQGCMs - Saclay - raphael@in2p3.fr

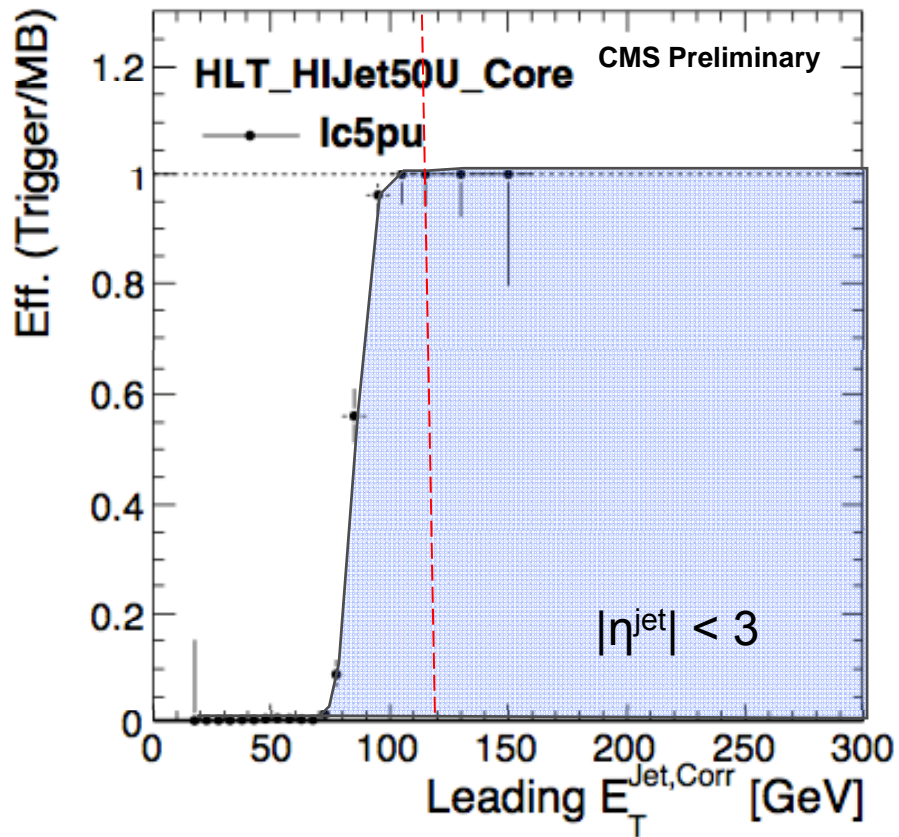


Most CENTRAL collisions!

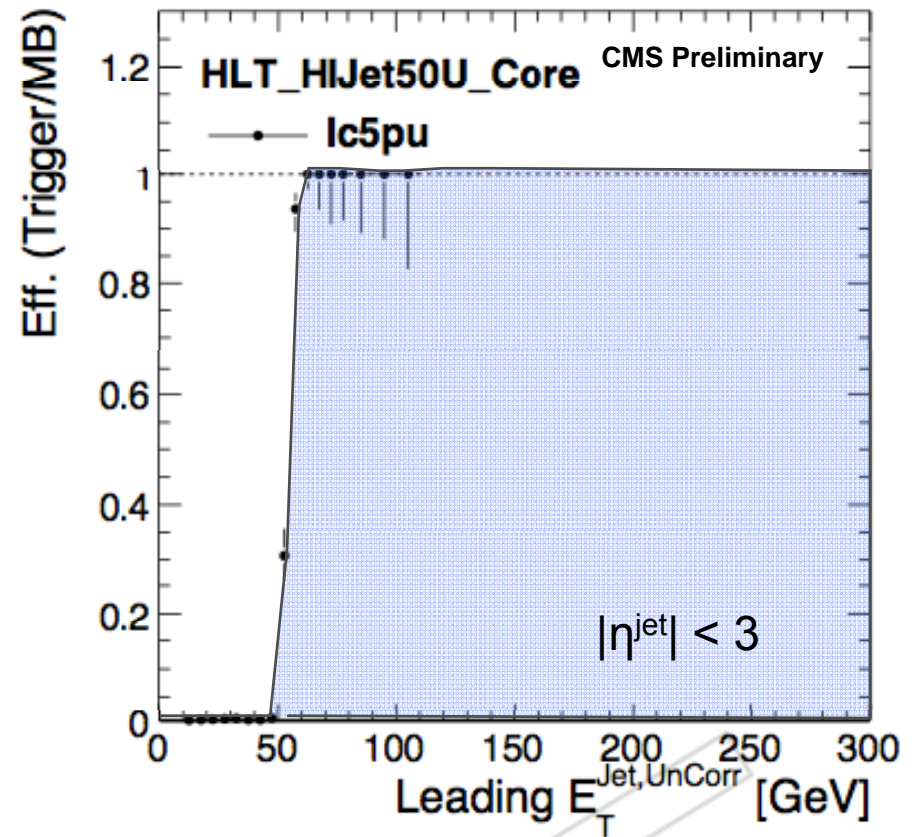


(slightly old, but pedagogical, data) PHENIX, PRL 91 (2003) 072303
31 janvier 2011 PQGCMS - Saclay - raphael@in2p3.fr

Jet Trigger Efficiency

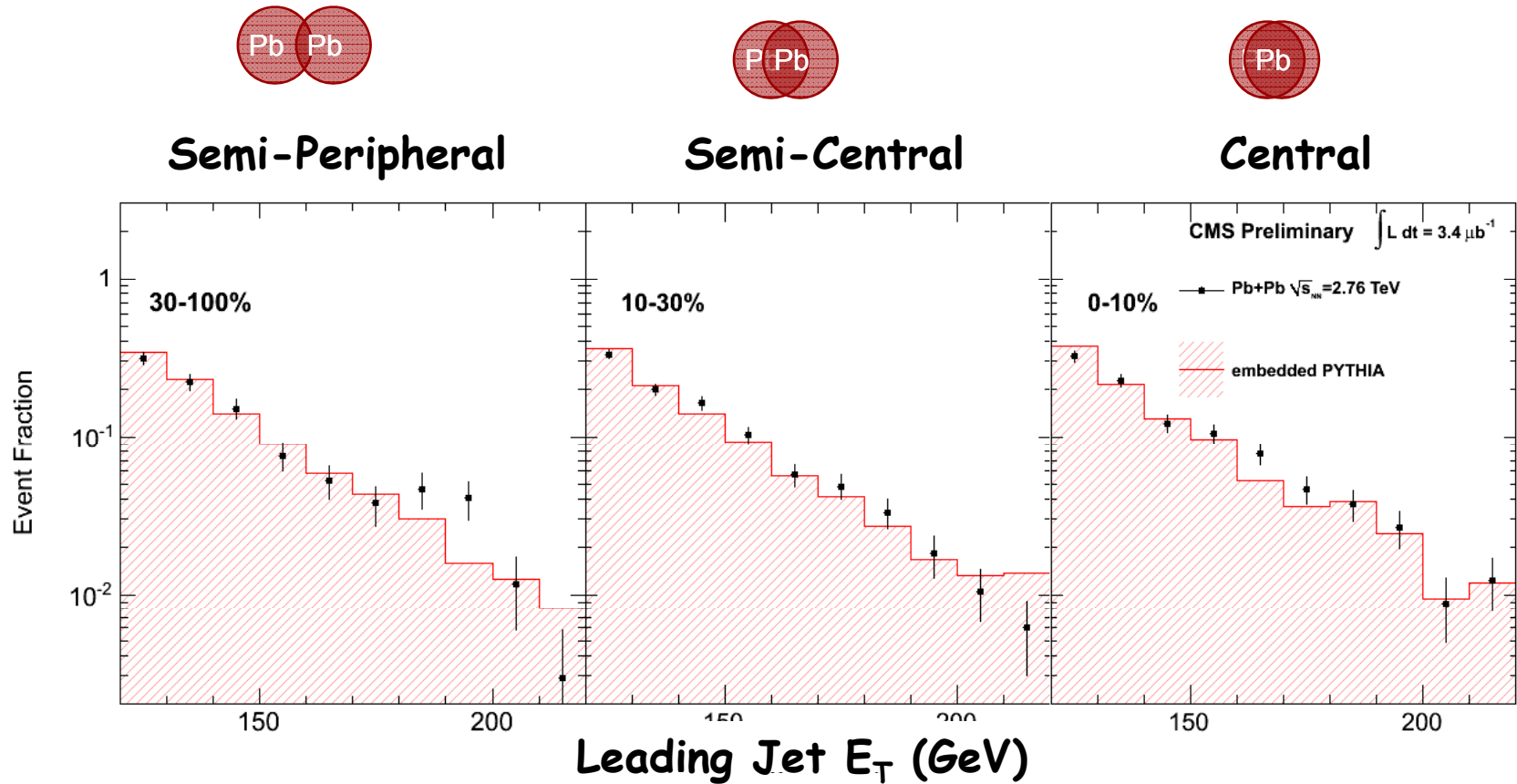


Corrected Jet Energy



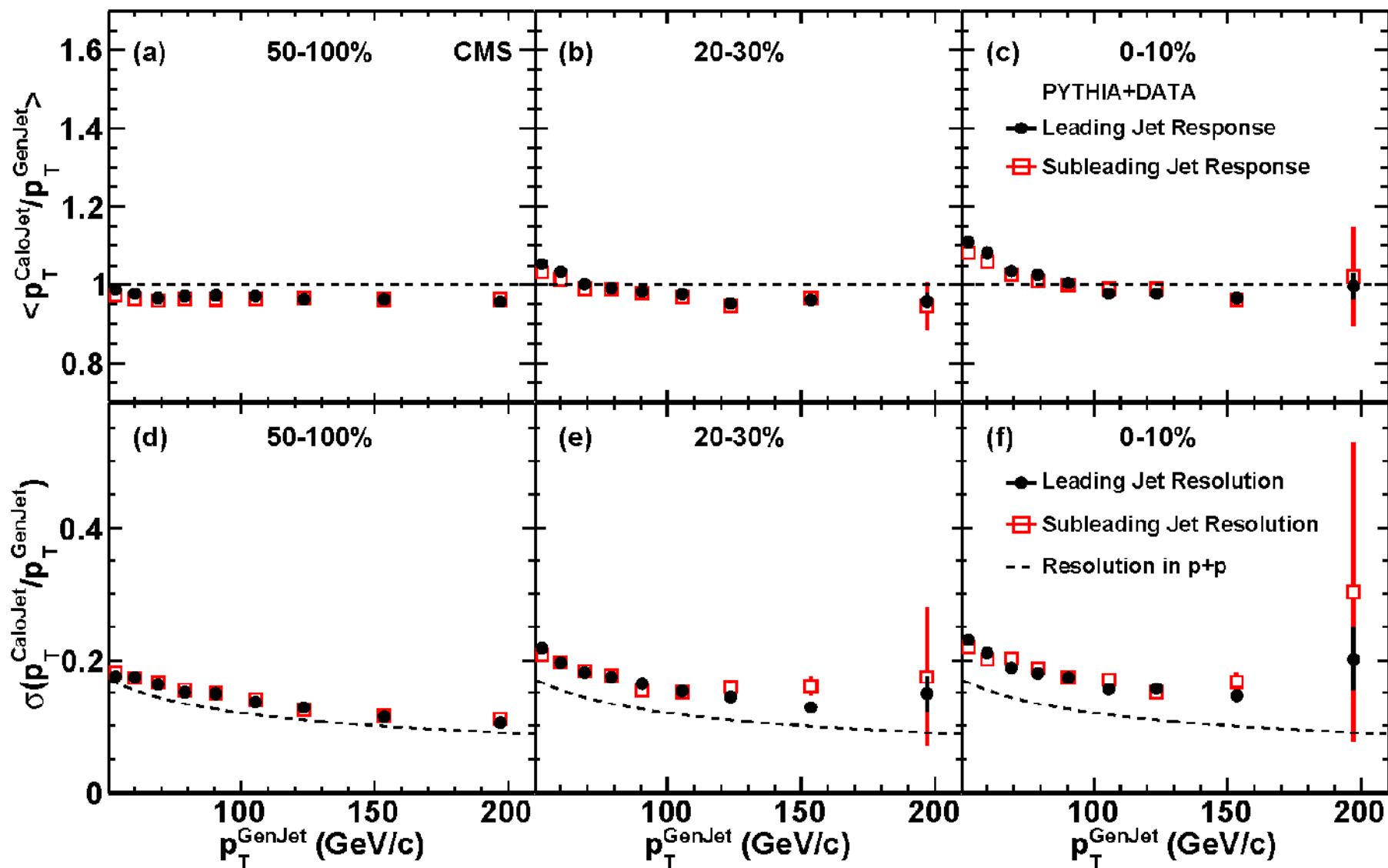
Raw Jet Energy

Leading Jet E_T Distributions

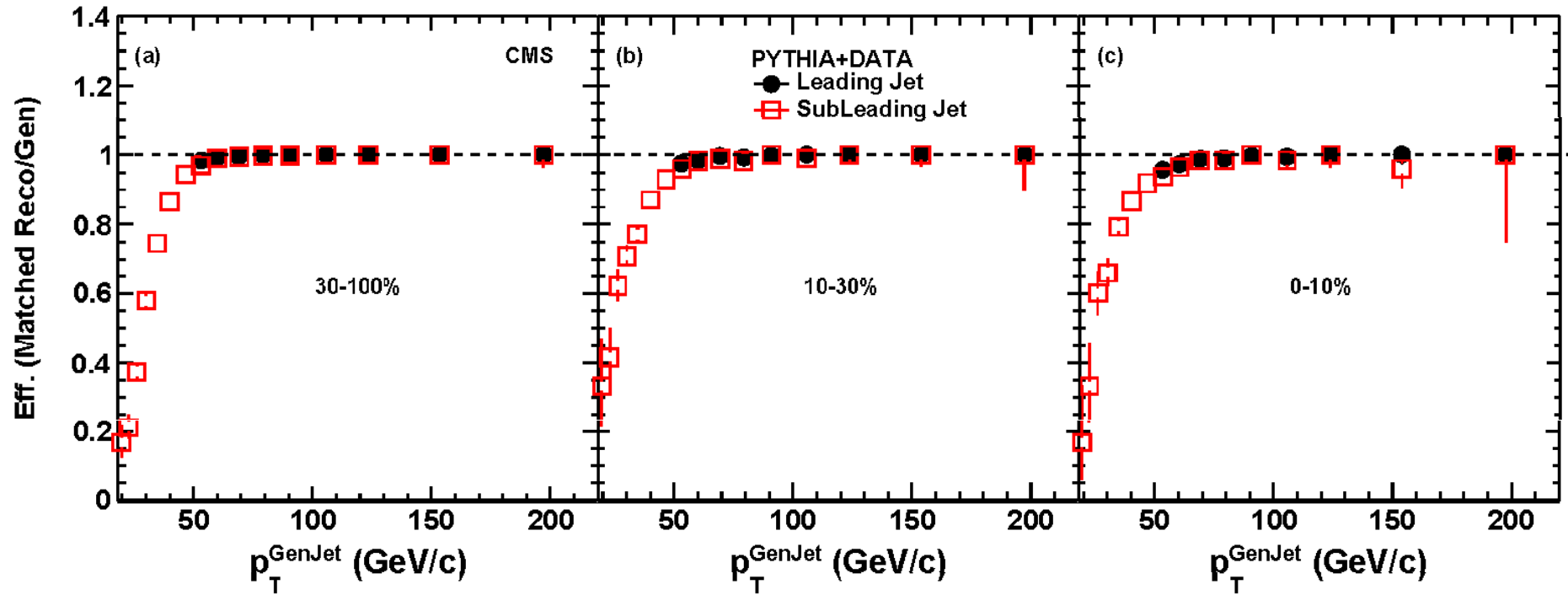


Leading jet E_T distribution shape well reproduced by simulations

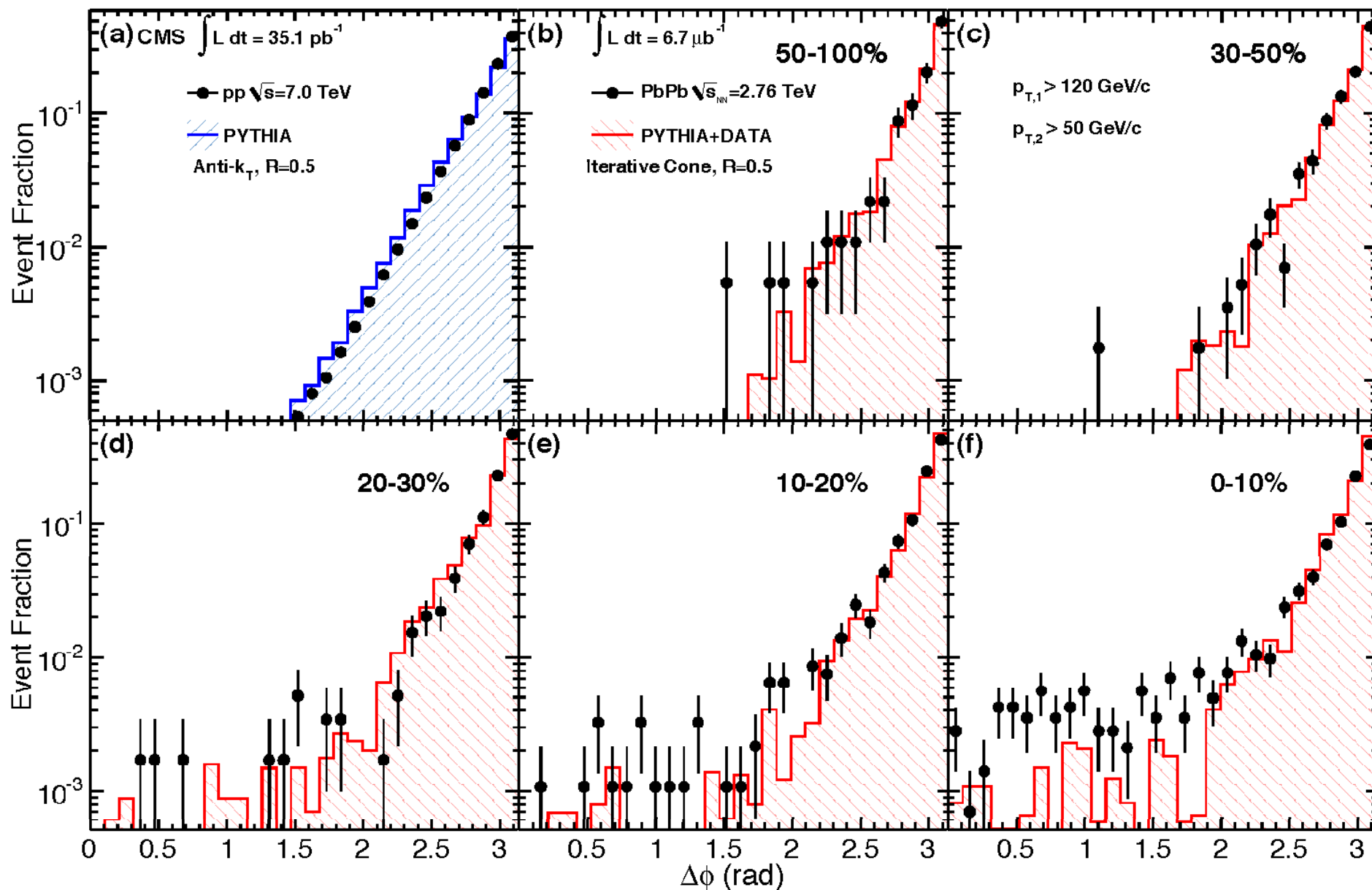
E scale corrections



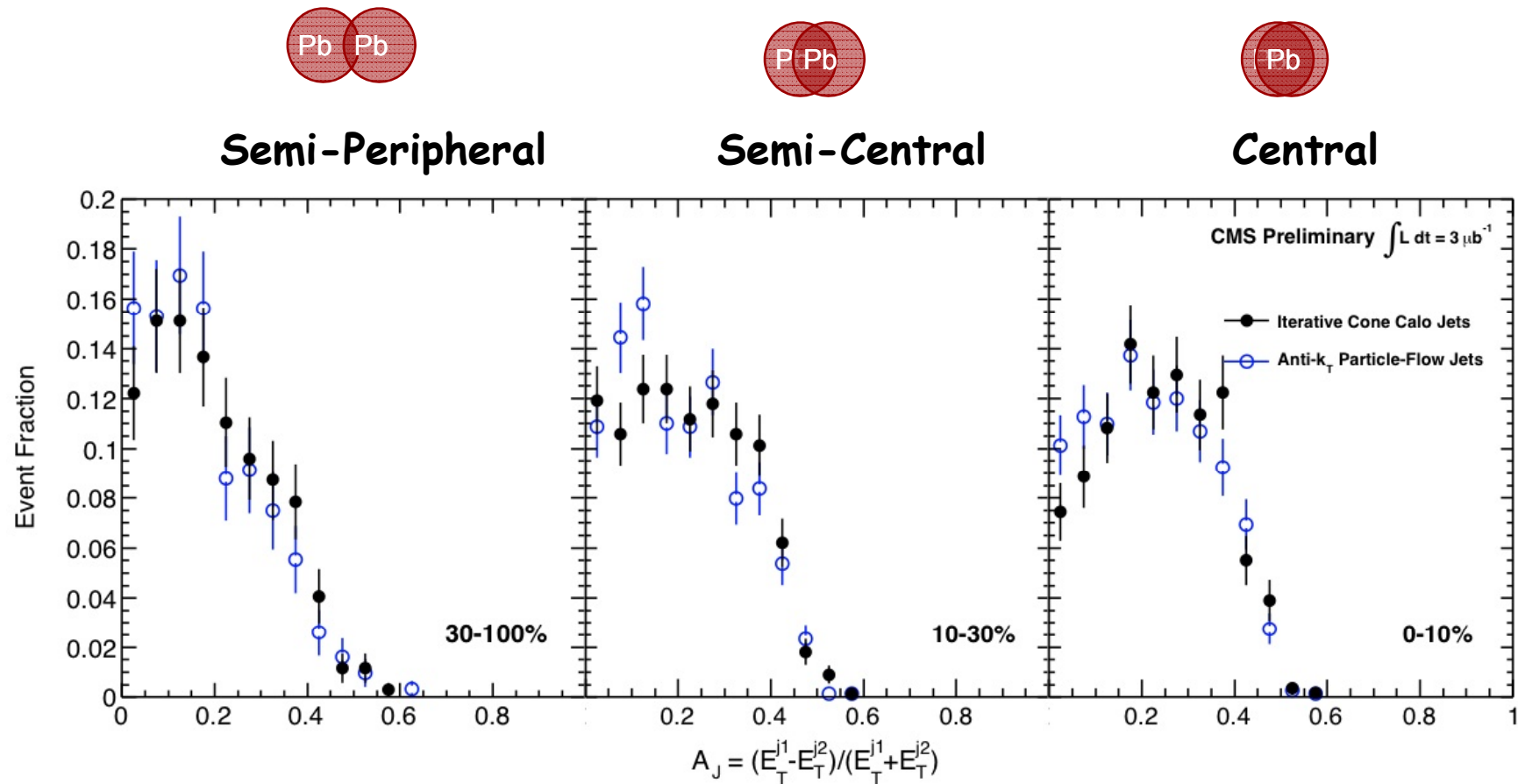
Efficacité pour jet



$\Delta\phi$

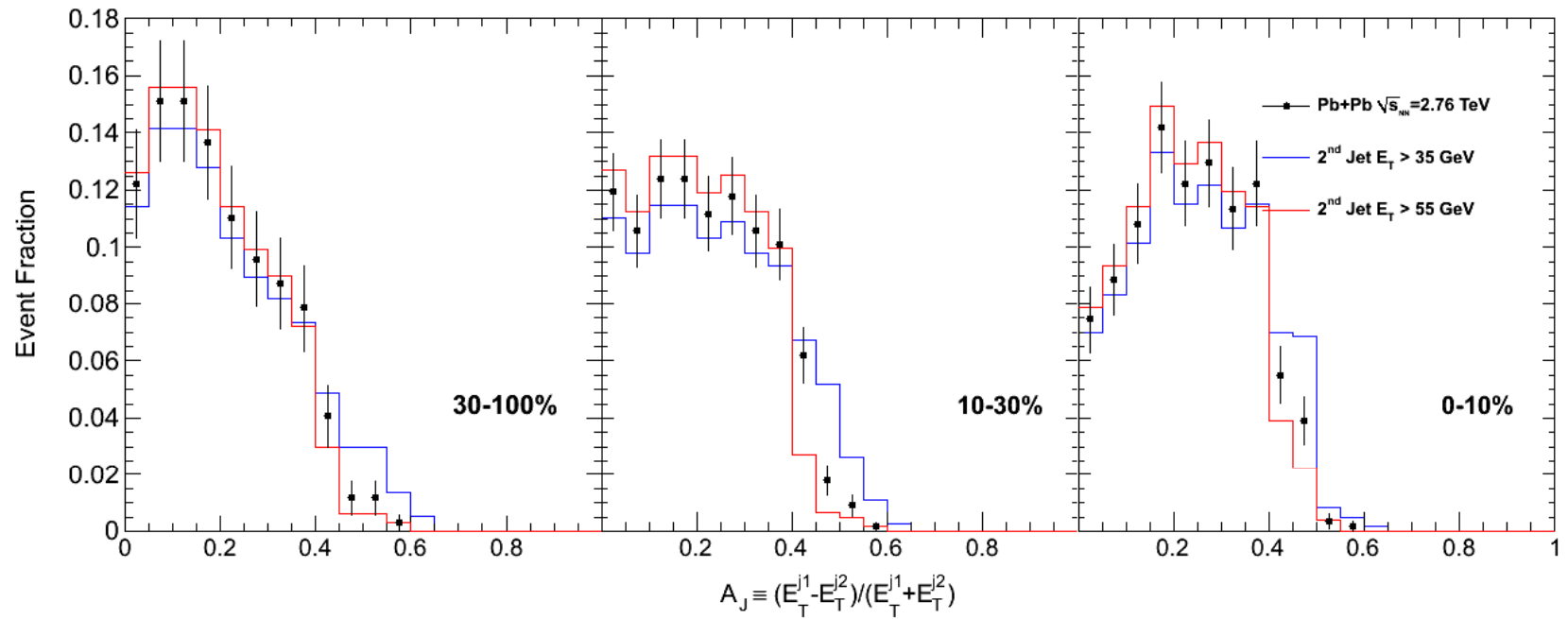


Dijet imbalance with Calo- and Particle Flow- Jets



Particle Flow: Extensive use of tracker information, different background subtraction, different jet finder algorithm
 Jet energy corrections are smaller than for CaloJets
 Excellent agreement between two very different methods

Variation vs subleading jet



Vs leading jet p_T

