

# Physique electroweak à D0

Boris Tuchming  
CEA-Saclay

- **Mesure des sections efficaces :**
  - chandelles standard : production de bosons Z et W
    - W,Z électrons, muons
    - W,Z en taus
  - production de dibosons, sensible aux couplages de jauge trilinéaires
    - WZ,  $W\gamma$ ,  $Z\gamma$ , WW
  - Parenthèse sur le W en muons
- **Mesure des propriétés**
  - W asymetrie
  - Z/ $\gamma$  lepton asymétrie  $A_{fb}$
- **Masse et largeur du W**

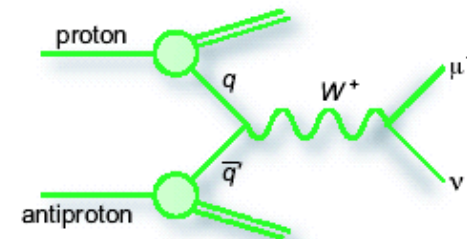
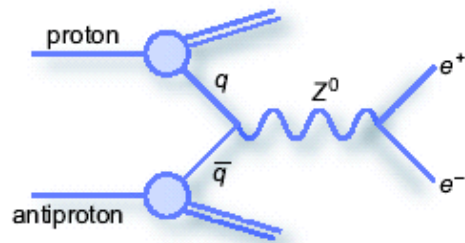


## Les sections efficaces



# Mesure des section efficaces Z et W en leptons

- Intérêt :
  - Détecteur
    - Maîtrise des critères d'identification des leptons à qq% %
    - Maîtrise du détecteur à quelques % (eg: tracking)
    - Démontrer l'identification des taus
  - Physique
    - désintégration en  $e, \mu, \tau \rightarrow$  test de l'universalité
    - Rapport  $R = \sigma \text{Br}(W \rightarrow l\nu) / \sigma \text{Br}(Z \rightarrow ll) \rightarrow$  Mesure indirecte de  $\Gamma_W \rightarrow |V_{cs}|$
    - Bruit de fond pour les recherches de nouvelles particules.



# Mesure des section efficaces Z et W en leptons

## Résultats actuelles (ICHEP) :

- les erreurs statistiques pratiquement négligeables (1%)
- systématique = 2 à 3.5%

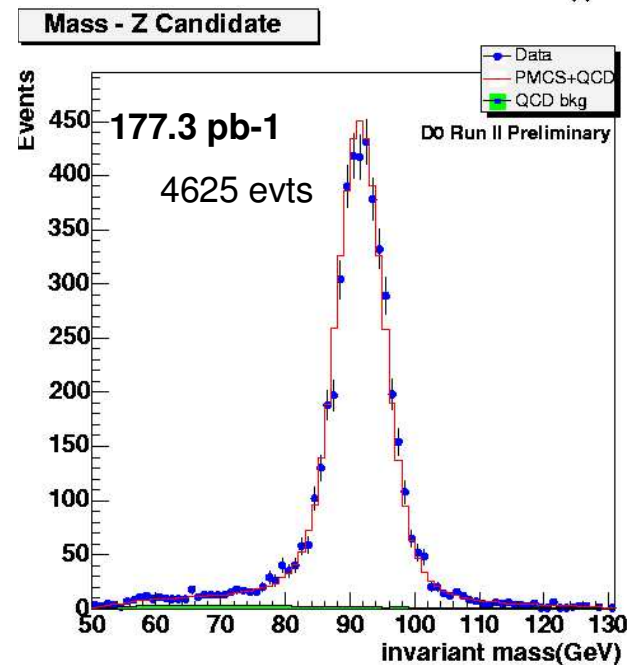
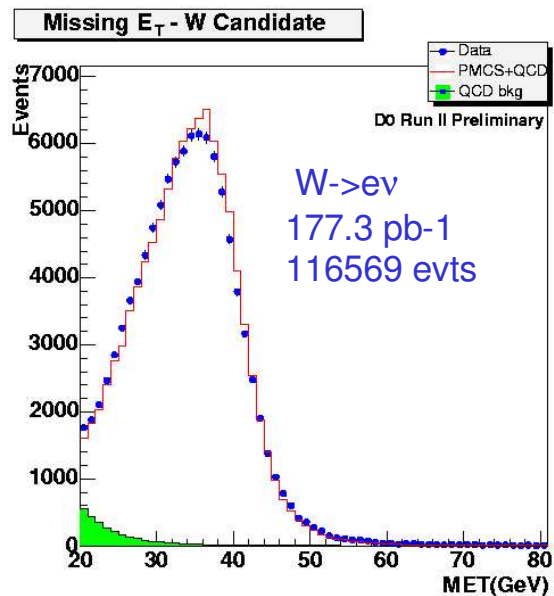
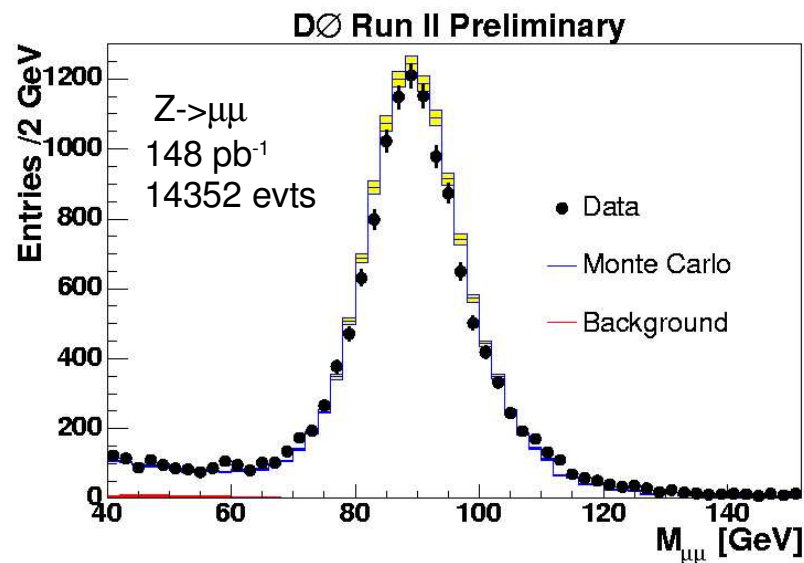
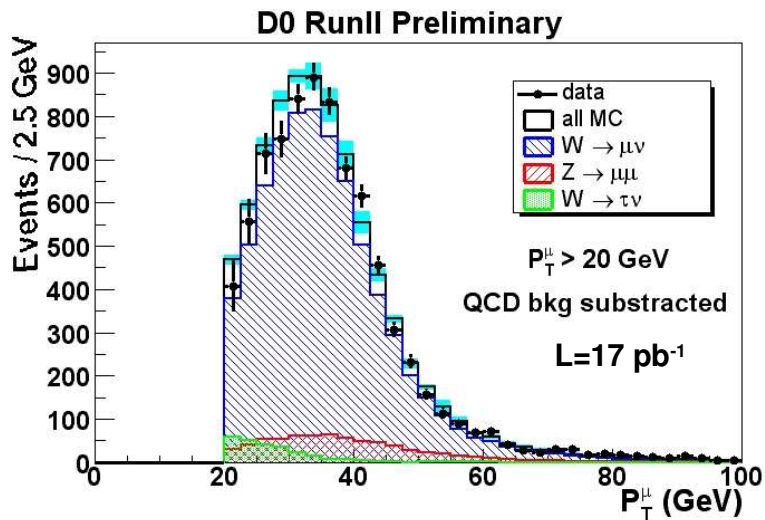
## W → lν

- $e\nu$  :  $\sigma = 2865.2 \pm 8.3$  (stat)  $\pm 74.7$  (sys)  $\pm 186.2$  (lumi) pb
- $\mu\nu$  :  $\sigma = 3226 \pm 38$  (stat)  $\pm 185$  (sys)  $\pm 322$  (lumi) pb (04/03 17 pb<sup>-1</sup>)

## Z → ll

- $ee$  :  $\sigma = 264.9 \pm 3.9$  (stat)  $\pm 9.8$  (sys)  $\pm 17.2$  (lumi) pb (08/04)
- $\mu\mu$  :  $\sigma = 291.3 \pm 3.0$  (stat)  $\pm 6.9$  (sys)  $\pm 18.9$  (lumi) pb (08/04)
- Résultats comparable à CDF, un peu moins bon (electron Id → 3% in ee)
  - $e\nu$  :  $\sigma = 2780 \pm 14$  (stat)  $\pm 60$  (sys)  $\pm 167$  (lumi) pb
  - $\mu\nu$  :  $\sigma = 2786 \pm 12$  (stat)  $\pm 60$  (sys)  $\pm 166$  (lumi) pb
  - $ee$  :  $\sigma = 255.8 \pm 3.9$  (stat)  $\pm 5.5$  (sys)  $\pm 15.4$  (lumi) pb
  - $\mu\mu$  :  $\sigma = 253.1 \pm 4.2$  (stat)  $\pm 7.3$  (sys)  $\pm 15.2$  (lumi) pb

# Masse, Masse Transverse, Missing $E_T$



# Mesure indirecte de la largeur du W

## Preliminary Ratio and Indirect W Width measurement

$$R \equiv \frac{\sigma_W \times BR(1\nu)}{\sigma_Z \times BR(1l)} = \frac{\sigma_W}{\sigma_Z} \frac{\Gamma(Z)}{\Gamma(Z \rightarrow ll)} \frac{\Gamma(W \rightarrow l\nu)}{\Gamma(W)}$$

Tree level NNLO QCD calc (Van Neerven)   
 SM EWK Calculation   
 PDG(LEP)

**CDF:  $R(e+\mu) = 10.92 \pm 0.15_{\text{stat}} \pm 0.14_{\text{syst}}$  (with 72 pb<sup>-1</sup>)**  
**DØ :  $R(e) = 10.82 \pm 0.16_{\text{stat}} \pm 0.28_{\text{syst}}$**

CDF:

NNLO, PDG  $\rightarrow \sigma(pp \rightarrow W) / \sigma(pp \rightarrow Z) = 3.368 \pm 0.024$

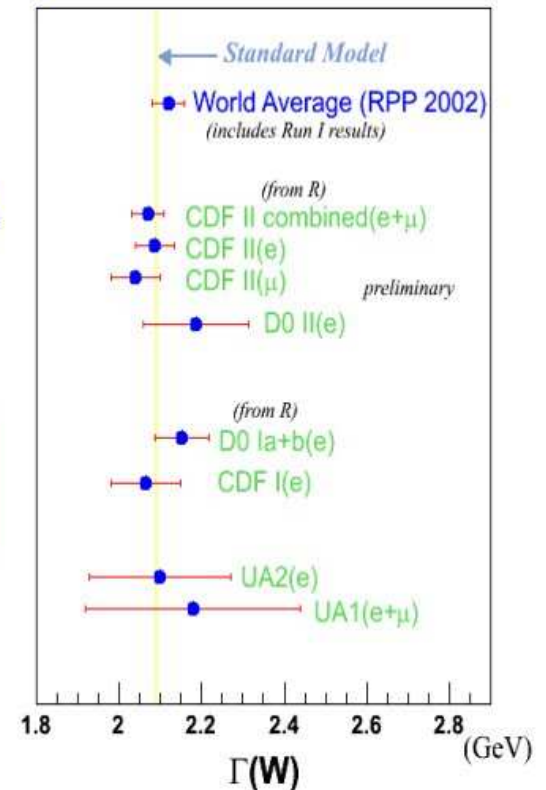
LEP  $\rightarrow \Gamma(Z \rightarrow ll) / \Gamma(Z) = (3.366 \pm 0.002)\%$

$\rightarrow$  W width:  $\Gamma_W = 2078.8 \pm 41.4 \text{ Me}$

World average = 2118  $\pm 42 \text{ Mev}$

$$\Gamma_W = 3\Gamma_W^0 + 3 \left( 1 + \frac{\alpha_s}{\pi} + 1.409 \left( \frac{\alpha_s}{\pi} \right)^2 - 12.77 \left( \frac{\alpha_s}{\pi} \right)^3 \right) \sum_{[\text{no top}]} |V_{qq'}|^2 \Gamma_W^0$$

$\rightarrow V_{cs} = 0.967 \pm 0.030$



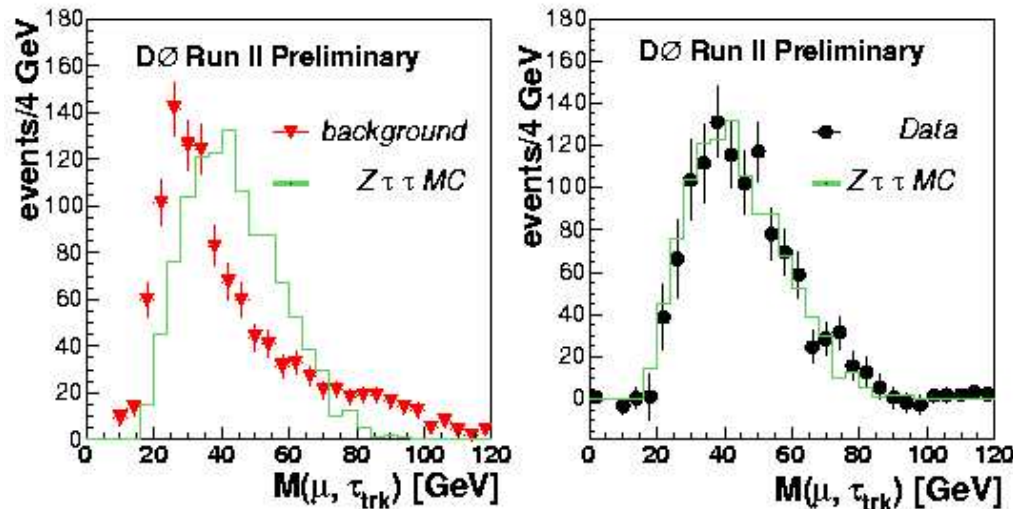
Pierre Pétrouff

ICHEP04 08/16-21/04



## Z et W en taus

- Collaboration review en ce moment pour le papier  $Z \rightarrow \tau\tau$  avec  $226 \text{ pb}^{-1}$ 
  - $\sigma = 261 \pm 16 \text{ (stat)} \pm 17 \text{ (sys)} \pm 16 \text{ (lumi)}$



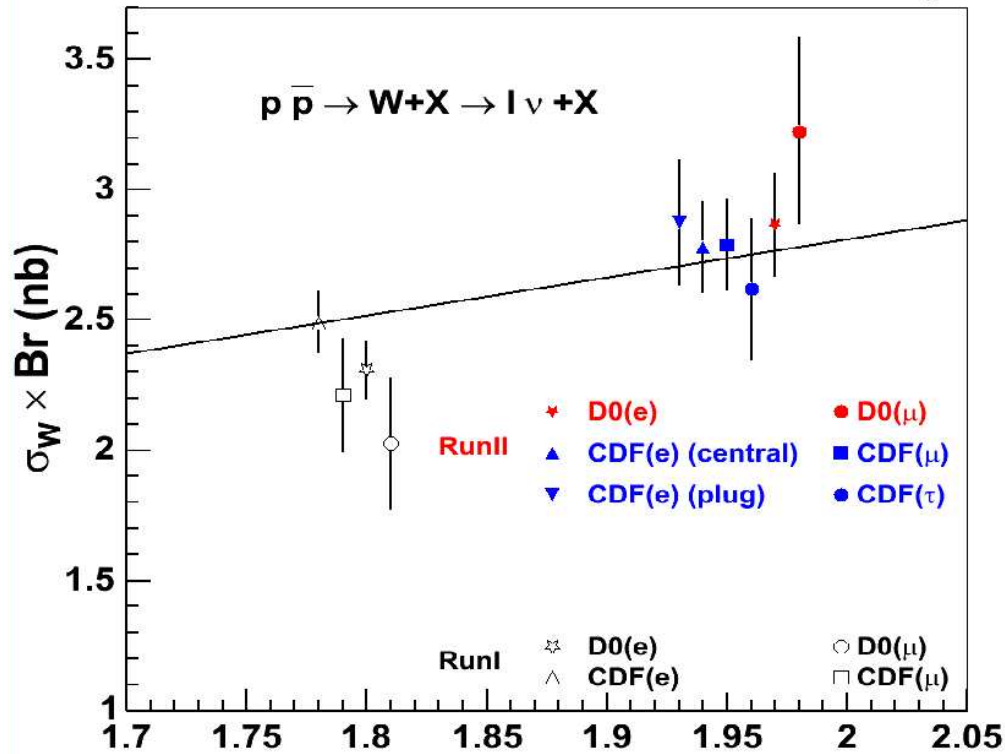
- CDF utilise moins de statistique ( $72 \text{ pb}^{-1}$ )
  - $\sigma = 242 \pm 48 \text{ (stat)} \pm 26 \text{ (sys)} \pm 15 \text{ (lumi)} \text{ pb}$
- CDF a aussi des premiers résultats pour  $W \rightarrow \tau\nu$  (personne dans DØ)
  - $\sigma = 2620 \pm 70 \text{ (stat)} \pm 210 \text{ (sys)} \pm 160 \text{ (lumi)} \text{ pb}$  (08/04)
  - mesure de l'universalité  $g_{\tau}/g_e = 0.99 \pm 0.02_{\text{sta}} \pm 0.04_{\text{sys}}$



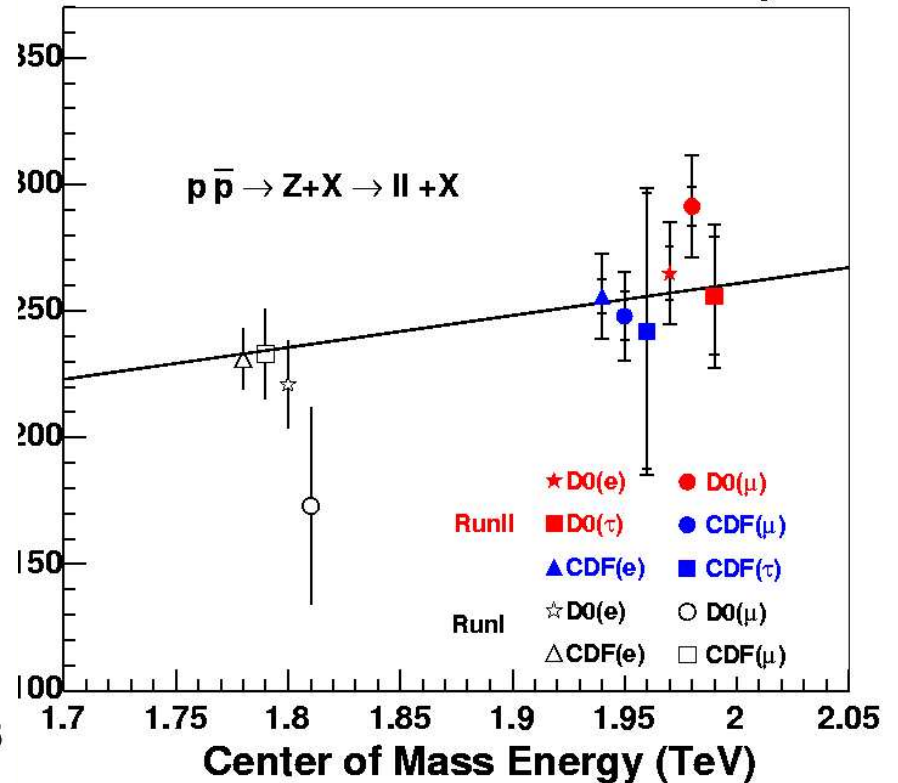
# W/Z Cross Sections Summary

Current preliminary results consistent with SM

## CDF and D0 RunII Preliminary



## CDF and D0 RunII Preliminary



Theoretical calculation NNLO from Hamberg, van Neerven and Matsuura

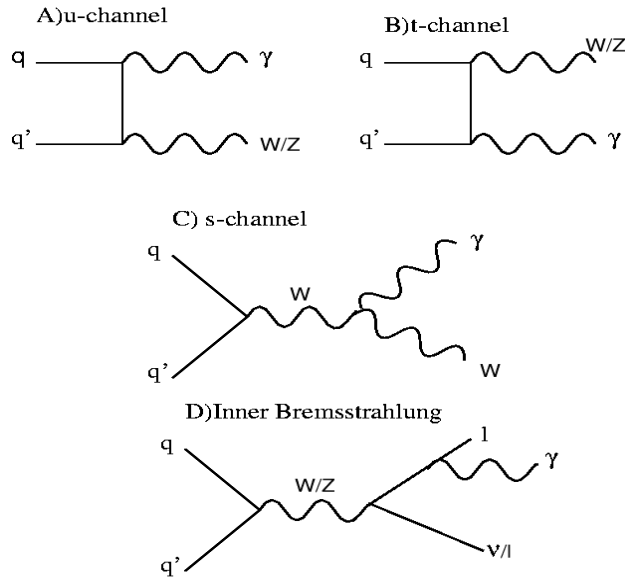


## Production de di-bosons



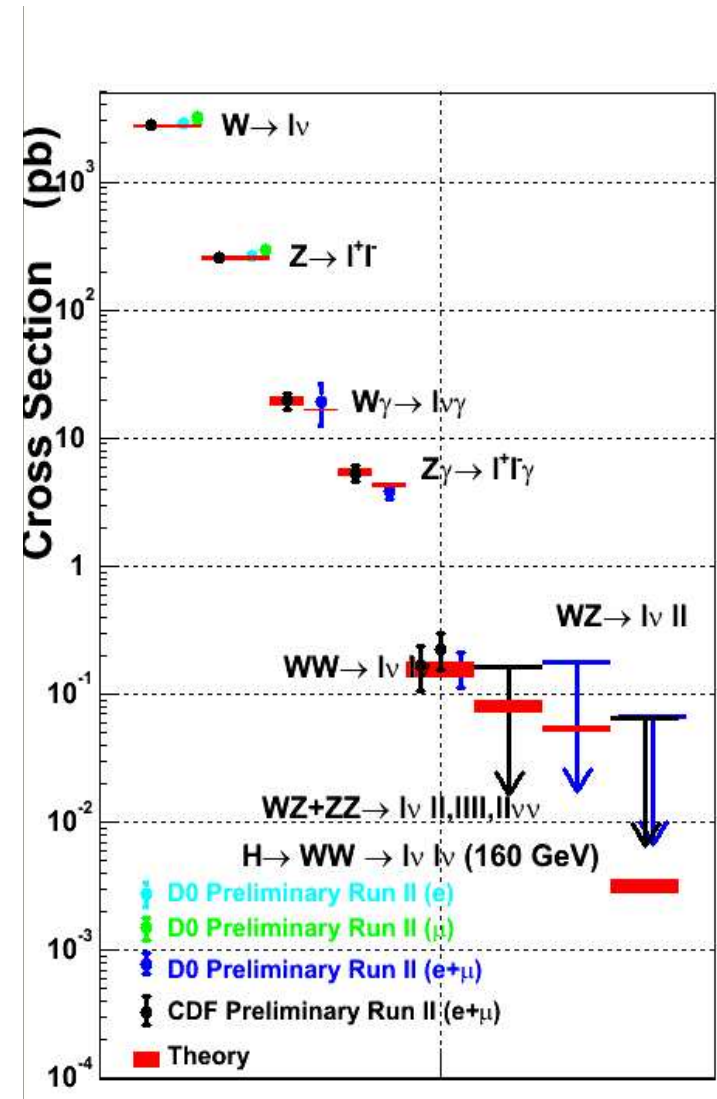
# Production de di-boson

## Faibles sections efficaces



Incertitudes dominées par la statistique.

- $W\gamma$  223 candidats ( $\sim 160 + 80 \text{ pb}^{-1}$ )
- $Z\gamma$  101 candidats ( $180+140 \text{ pb}^{-1}$ )
- $WW$  25 candidats ( $\sim 220 \text{ pb}^{-1}$ )
- $WZ+ZZ$  4 candidats ( $\sim 200 \text{ pb}^{-1}$ )
- Résultats compétitifs avec CDF.
- Bientôt traduit en termes de triple-gauge couplings



## Parenthèse sur l'analyse $W \rightarrow \mu\nu$

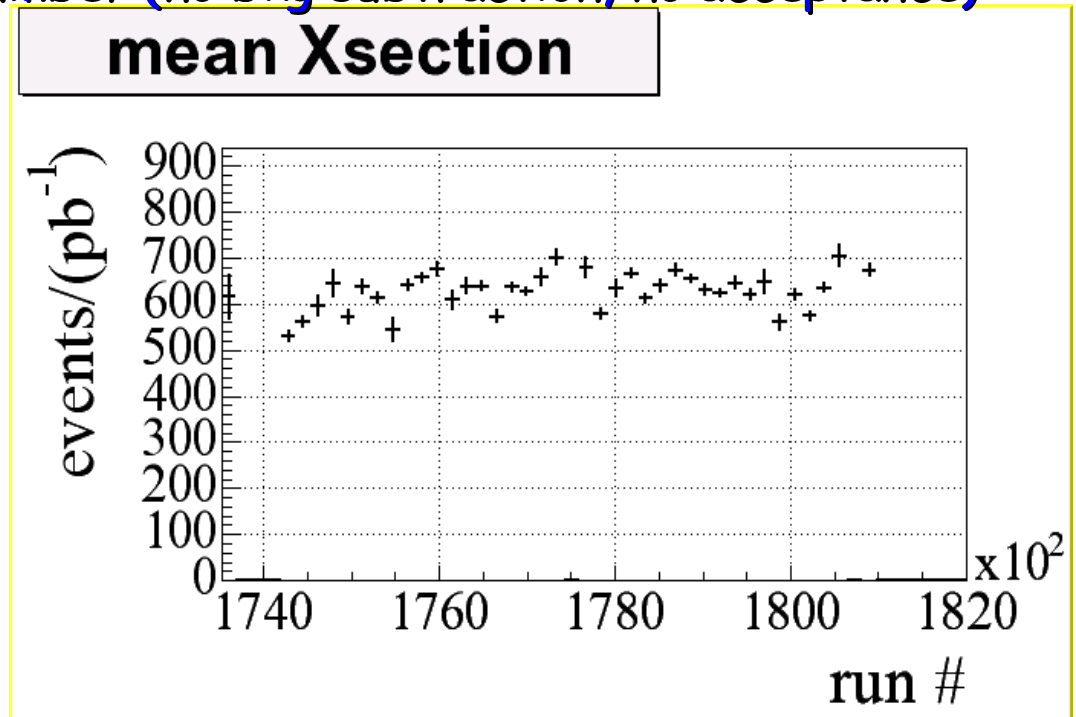


## W- $\rightarrow\mu\nu$ à D0

- Ce qui diffère du Z- $\rightarrow\mu\mu$ 
  - tracking + SMT hits.
  - Medium muon (loose dans Z- $\rightarrow\mu\mu$ )
  - Un seul muon !
    - efficacité  $\epsilon$  dont il faut mesurer l'incertitude
    - efficacité dans le cas du Z :  $2\epsilon - \epsilon^2$  est souvent proche de 1.
  - Bref toutes les efficacités sont à recalculer dans le cas du W.
- Objectif : incertitude systématique totale < 2%.
- Problèmes principaux :
  - stabilité de l'analyse avec le temps
  - Mesures des efficacités, il faut comprendre comment apparaissent les biais éventuels

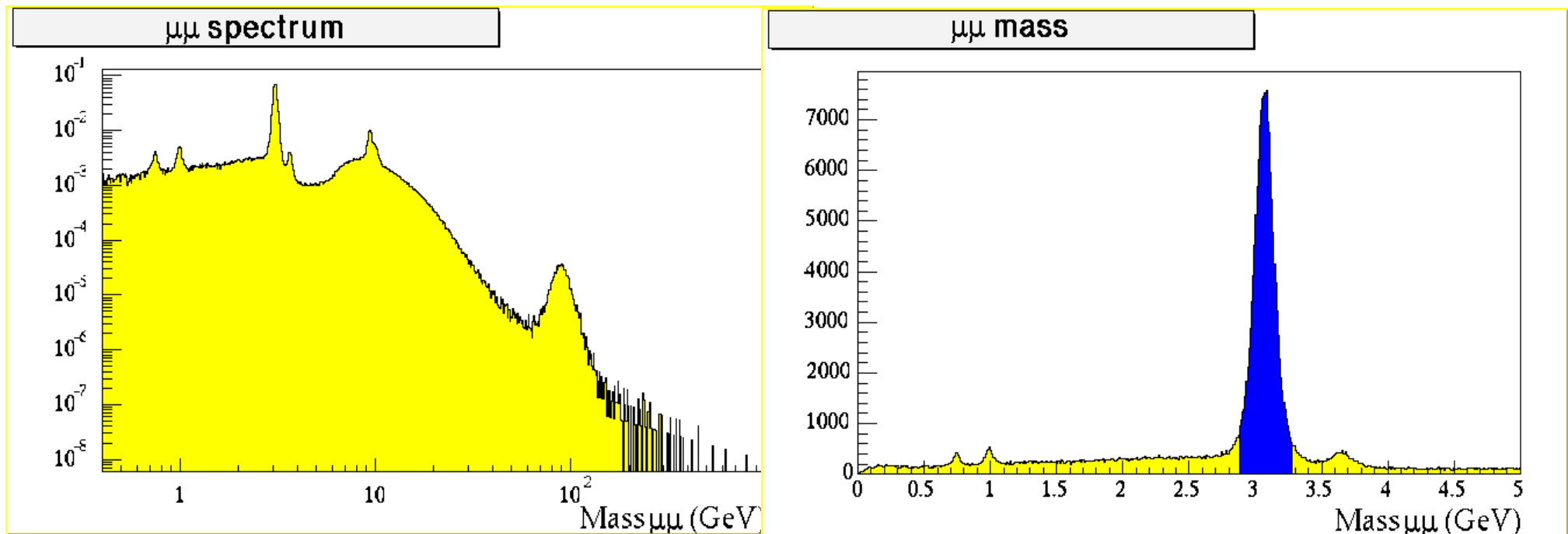
## Exemple : stabilité de l'analyse

- #events/luminosity vs run number (no bkg subtraction, no acceptance)



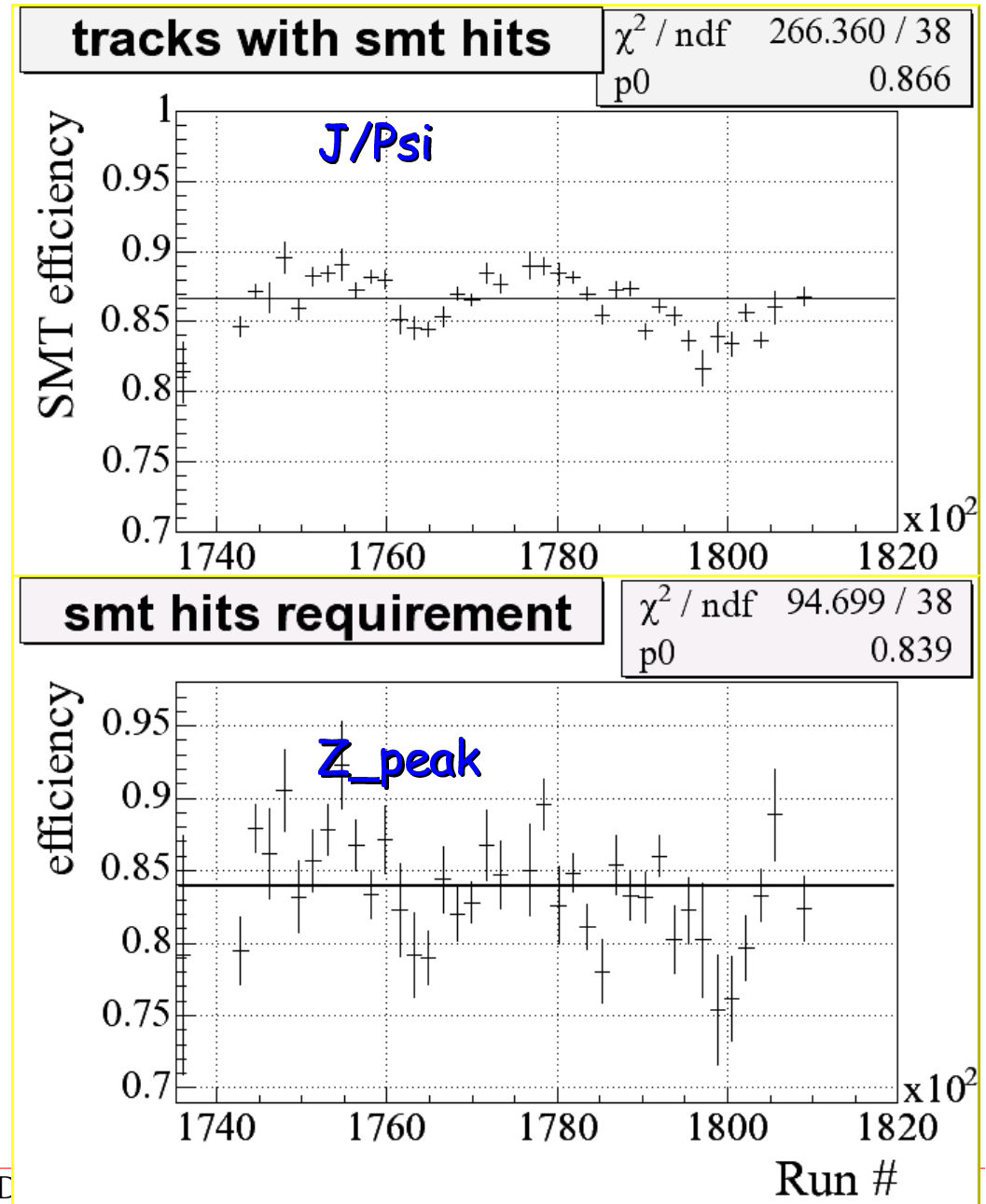
## Look at the J/psi peak

- Use the Dimuon skim.
- 2 medium + idnseg=3 + opposit charges
- $P_t > 3 \text{ GeV}$
- dimuon trigger L2\_ETAPHI or L2\_M0
- Calorimeter isolation Halo < 3
- $2.88 < \text{Mass} < 3.28$



# SMT hit efficiency J/psi peak

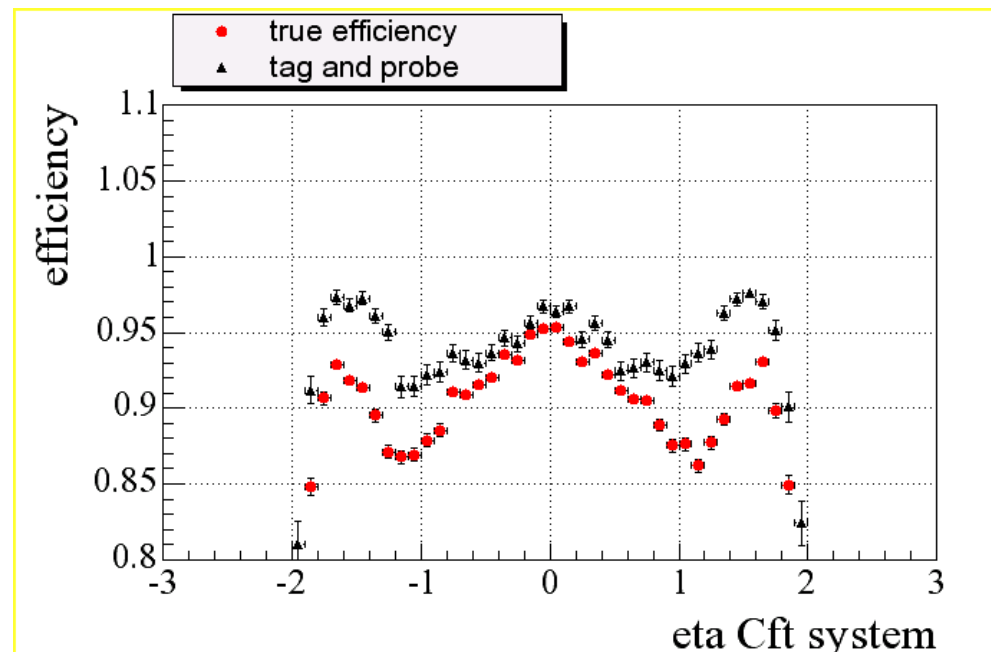
- Fraction of muon with SMT hits in the peak
- See clearly the same pattern as for Z peak data.
- The average value is not the same
  - Different eta distribution?





# Tracking(+SMT hits) bias

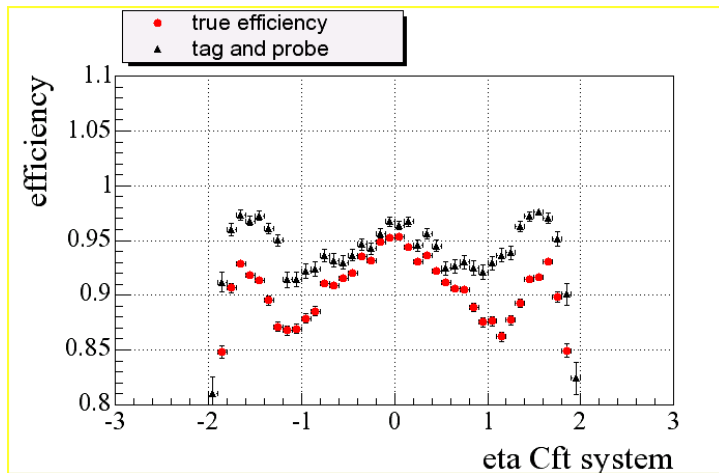
- Example of bias for tracking efficiency measurement :
  - Method for tracking efficiency measurement = tag and probe method.
  - We use Z-peak data
  - We require one muon (muon system + central tracker) on one side
  - We require one muon (muon system only) on the other side = test muon
  - Count the fraction of test muon with a matched central track
  - Using MC one can see that this method gives a 2% bias



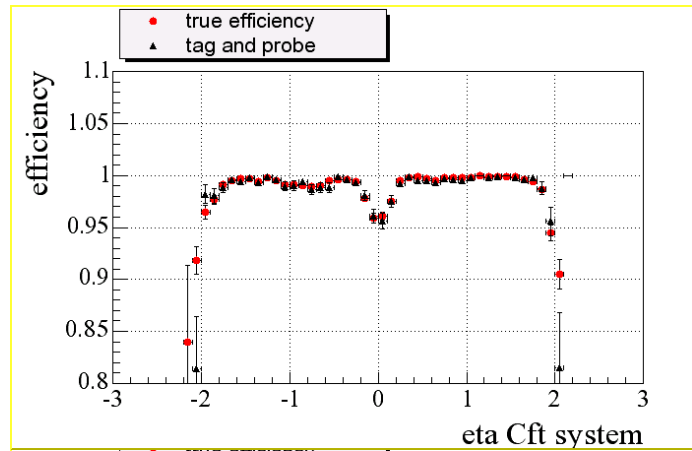
- reason : tracking efficiency depends also upon z of the primary vertex ( gaussian width = 28cm). Requiring a track for the first muon, biases the z distribution and thus the efficiency for the second muon

# Solution for the tracking : split into bins of z

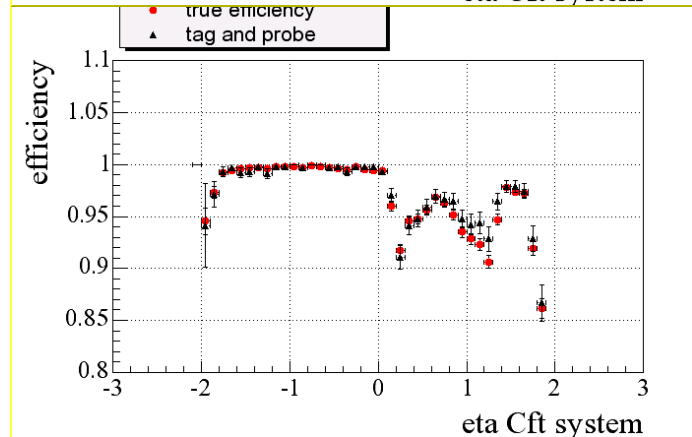
- Thus the bias is reduced from 2% to 0.3%



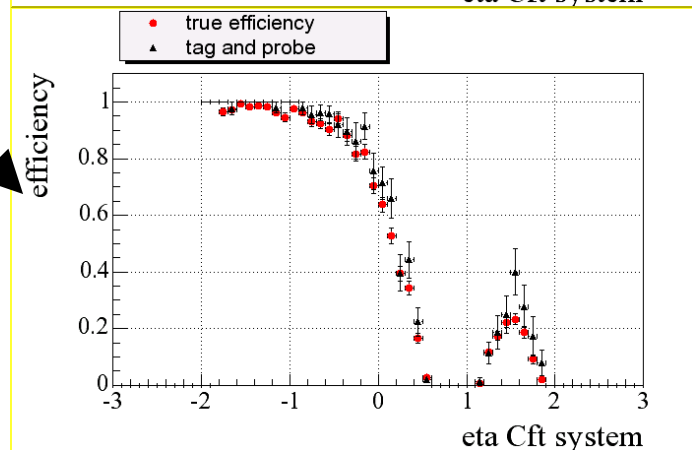
$-10 < z < 10$  cm



$10 < z < 39$  cm

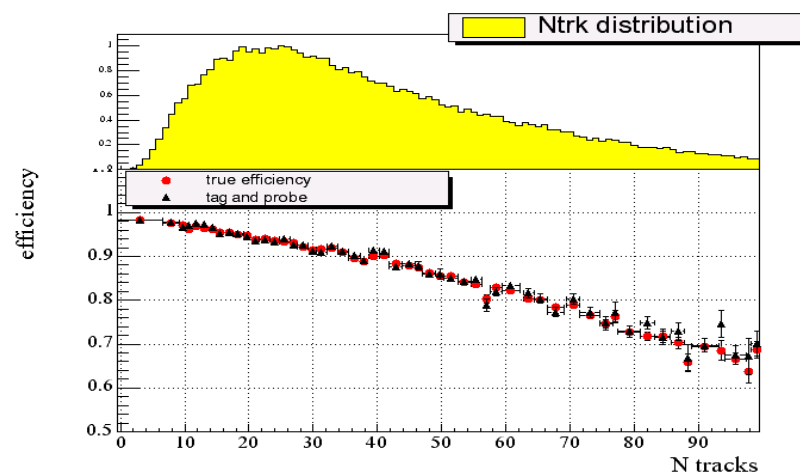
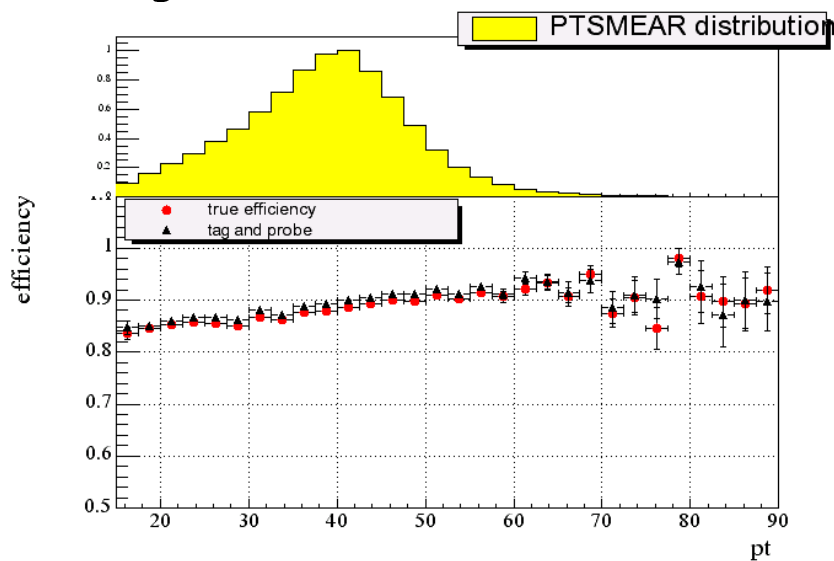


$z > 39$  cm



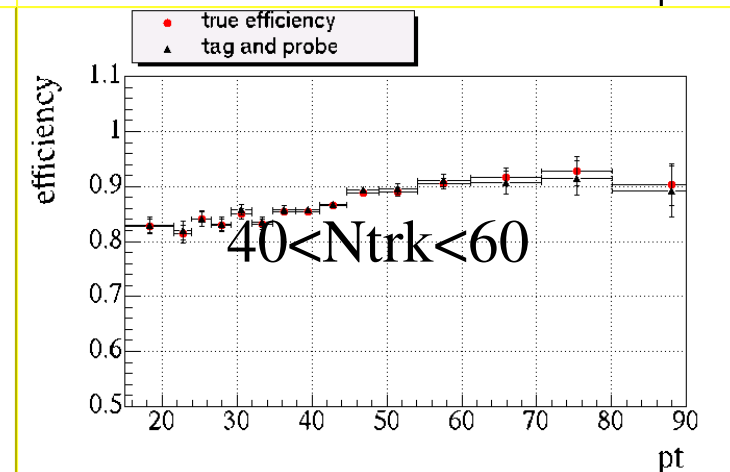
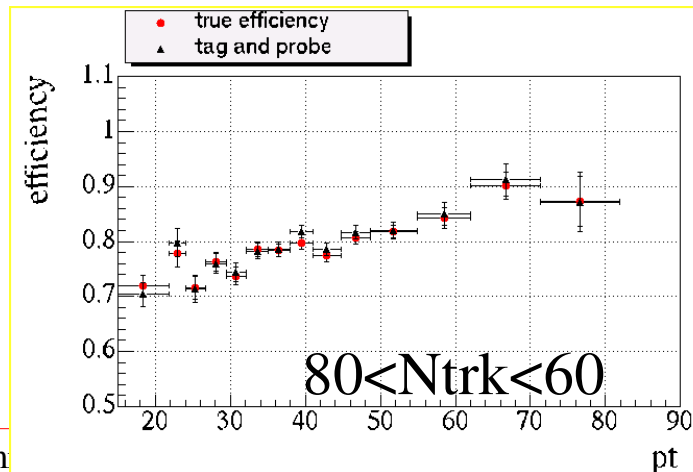
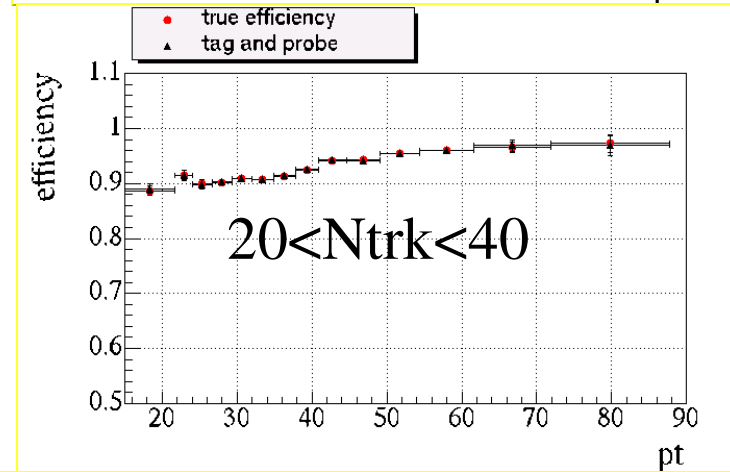
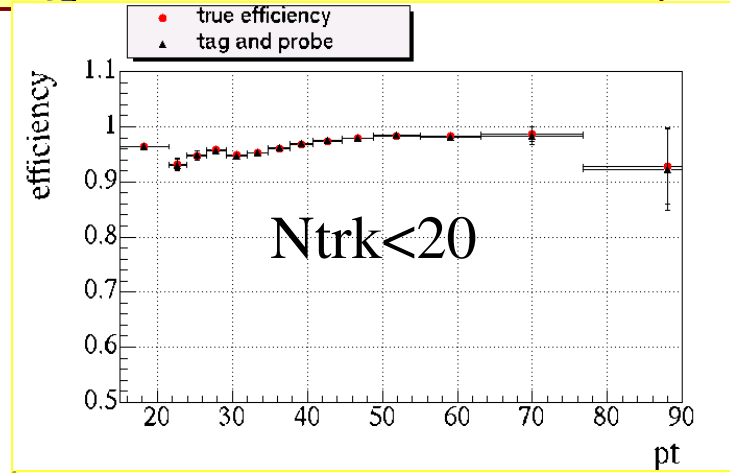
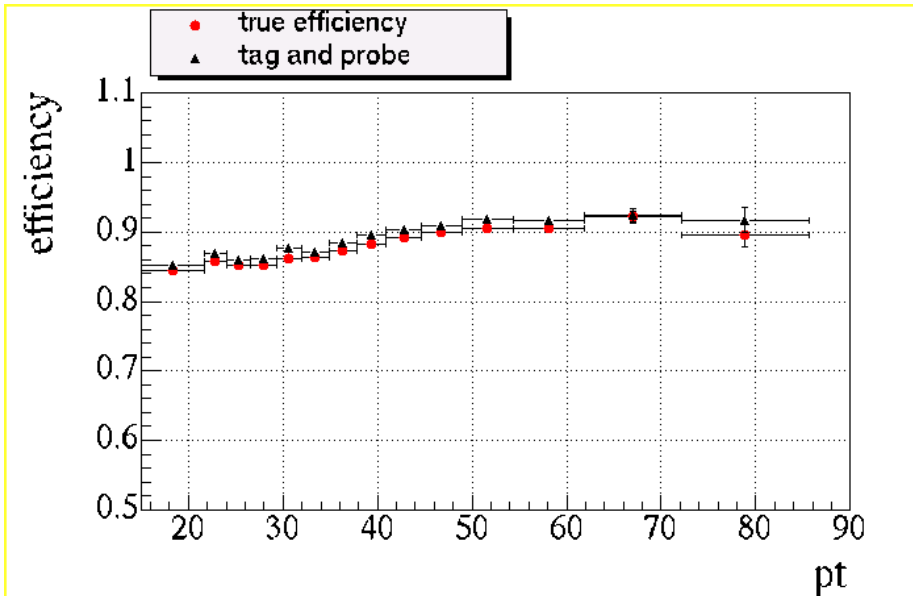
# Isolation bias

- Example of bias for isolation efficiency measurement :
  - Method for isolation efficiency measurement = tag and probe method.
  - We use Z-peak data
  - We require one muon on one side, isolated to suppress  $b\bar{b}$  background
  - We require one muon on the other side = test muon
  - Count the fraction of isolated test muon
  - Using MC one can see that this method gives a 1% bias



- reason : isolation depends upon overall detector occupancy

# Another way of viewing this



- Overall efficiency as a function of Pt

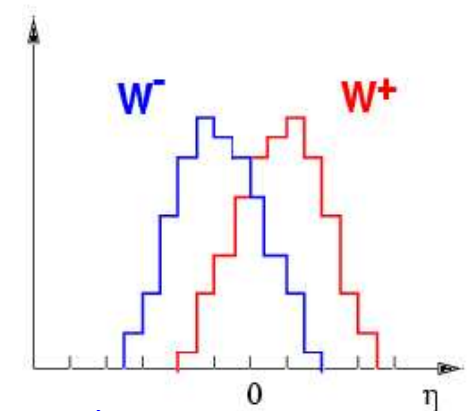


## Mesure des asymétries

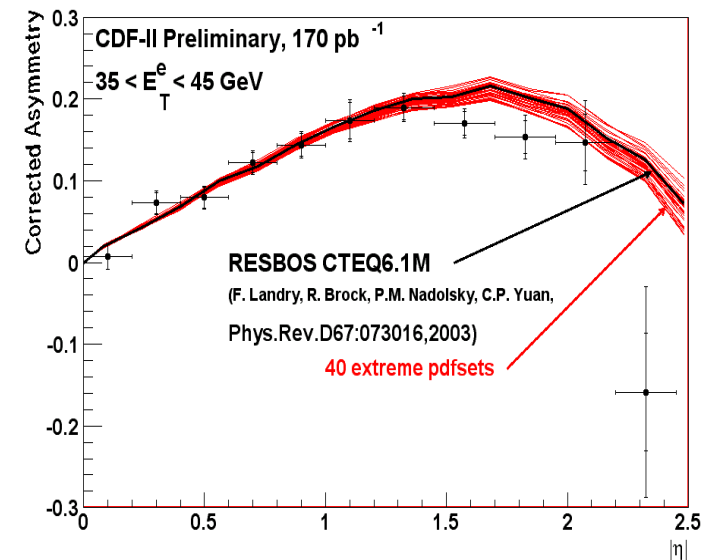
# Asymétrie dans le W

- La production de W est asymétrique + interaction V-A
- =>Asymétrie de charge dans la production de leptons

$$A(\eta_l) = \frac{d\sigma_+ / d\eta_l - d\sigma_- / d\eta_l}{d\sigma_+ / d\eta_l + d\sigma_- / d\eta_l} \sim \frac{d(x)}{u(x)}$$



- Permet de contraindre les PDF. (utile pour la mesure de  $M_W$ )
- Seule CDF à des résultats pour l'instant Run II (et Run I)
- **Analyses embryonnaires dans D0**



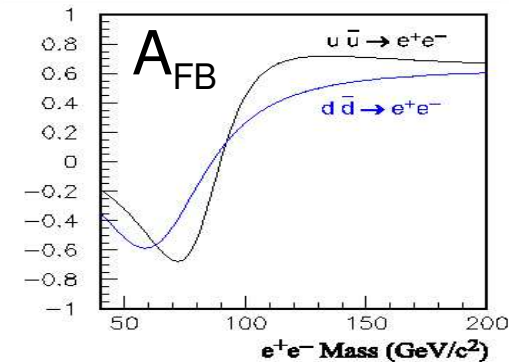
# Asymétrie avant arrière pour le Drell-Yan

- Asymétrie due à la partie axiale du couplage du Z au fermions et à l'interférence Z/ $\gamma$ 
  - mesure des couplages aux leptons
  - mesure des couplages aux quarks
  - sensible à l'interférence avec un Z' = complémentaire de la recherche directe

$$d\sigma / d\cos\theta = A(1 + \cos^2\theta) + B\cos\theta$$

$$A_{FB} = \frac{d\sigma(\cos\theta > 0) - d\sigma(\cos\theta < 0)}{d\sigma(\cos\theta > 0) + d\sigma(\cos\theta < 0)}$$

$$A_{FB} = \frac{3B}{8A}$$

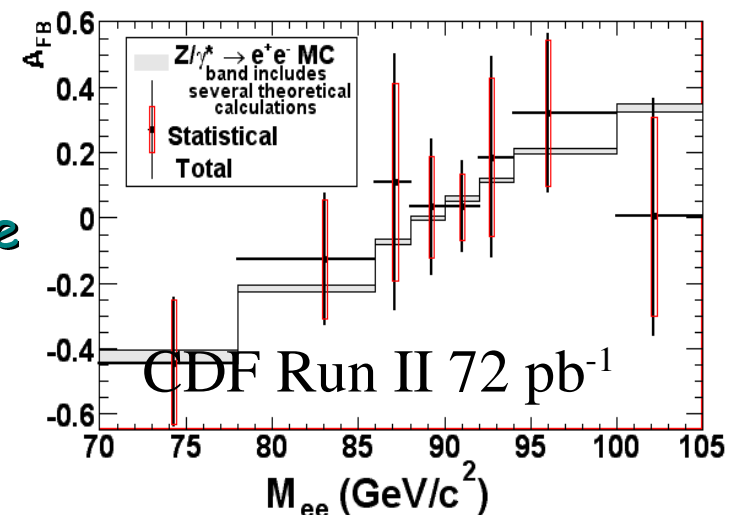


- Seule CDF présente des résultats RunII :

$$\sin^2\theta_W = 0.2238 \pm 0.0046(\text{stat}) \pm 0.0020(\text{syst})$$

$$\chi^2/\text{ndf} = 12.71/14.0$$

- Il faut environ  $10 \text{ fb}^{-1}$  pour espérer être compétitif avec LEP+SLD
- Pas d'analyse à D0



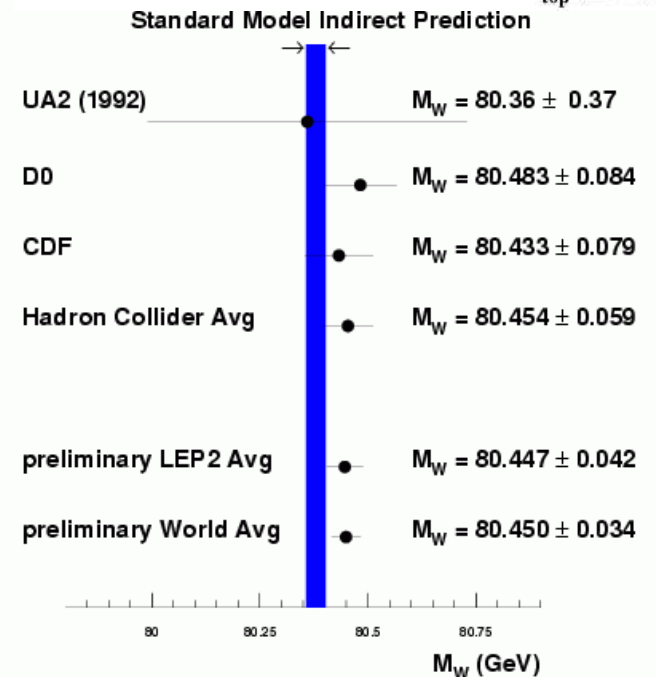
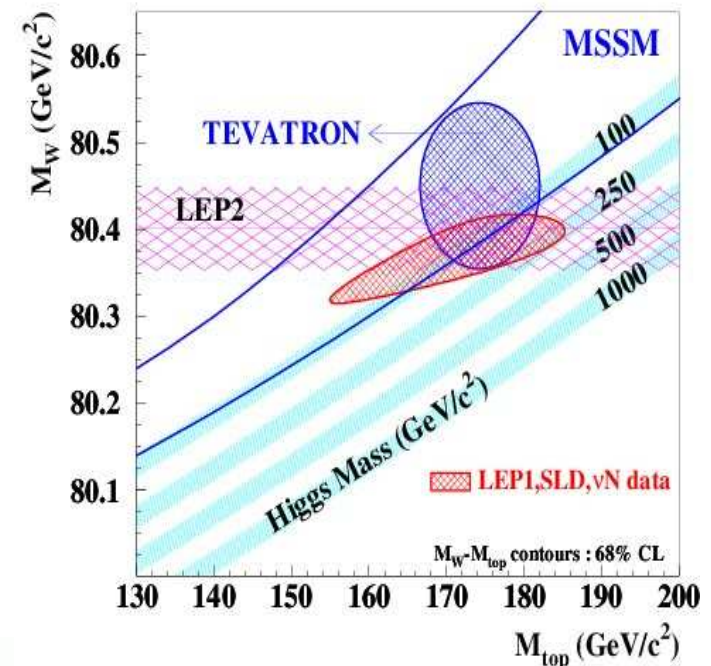


## Mesure de la masse et la largeur du W

# Masse du W

- Un des enjeux principaux du Tevatron
- Permet de contraindre la masse du Higgs.
- D0 Run I (ev):
  - incertitude  $\pm 84$  MeV (dont  $\pm 60$  dû à  $N_W$ )
- « Objectif » du Run II avec  $2\text{fb}^{-1}$ 
  - $\sim 40$  MeV
  - $\sim 30$  MeV combiné avec CDF
- LHC avec  $10\text{fb}^{-1}$ , 25 MeV per experiment ?
- Objectif à court terme (été 2005) : avoir un résultat comparable au Run I.
  - CDF clame avoir à ce jour une incertitude plus faible qu'au Run I (76 MeV)

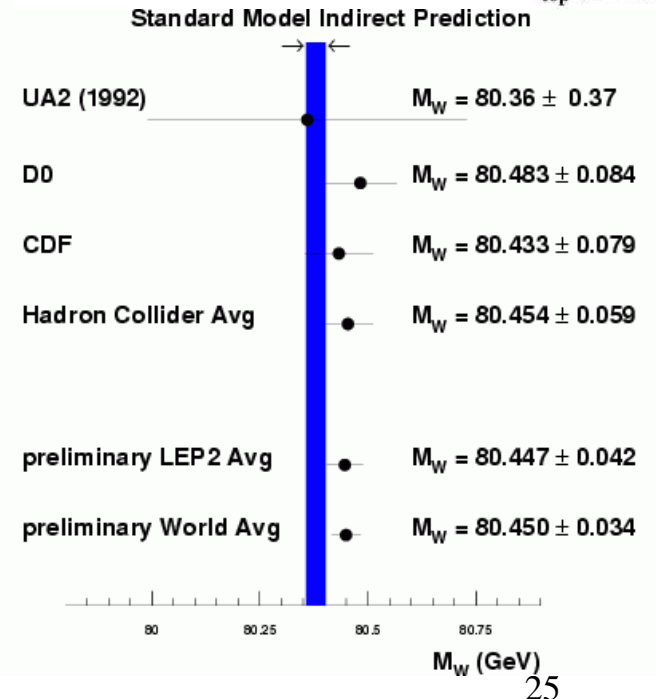
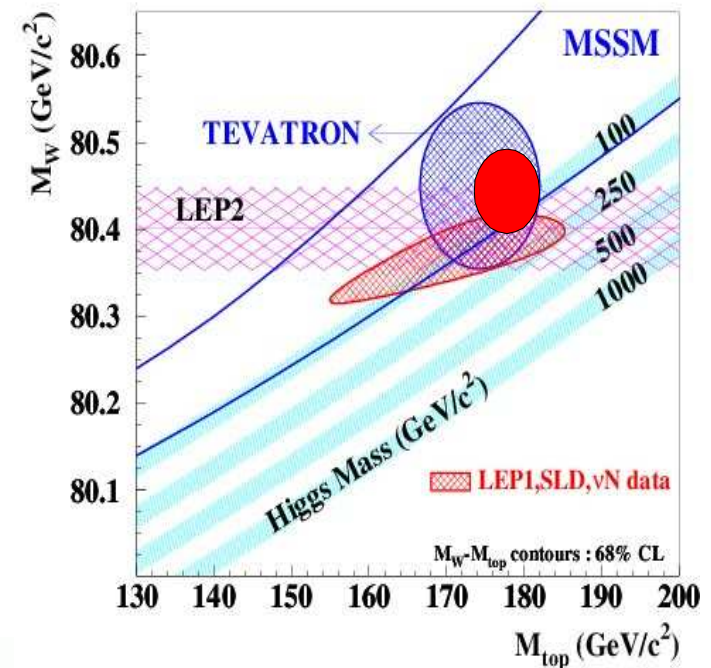
Pick-event massif pour un reprocessing



# Masse du W

- Un des enjeux principaux du Tevatron
- Permet de contraindre la masse du Higgs.
- D0 Run I (ev):
  - incertitude  $\pm 84$  MeV (dont  $\pm 60$  dû à  $N_W$ )
- « Objectif » du Run II avec  $2\text{fb}^{-1}$ 
  - $\sim 40$  MeV
  - $\sim 30$  MeV combiné avec CDF
- LHC avec  $10\text{fb}^{-1}$ , 25 MeV per experiment ?
- Objectif à court terme (été 2005) : avoir un résultat comparable au Run I.
  - CDF clame avoir à ce jour une incertitude plus faible qu'au Run I (76 MeV)

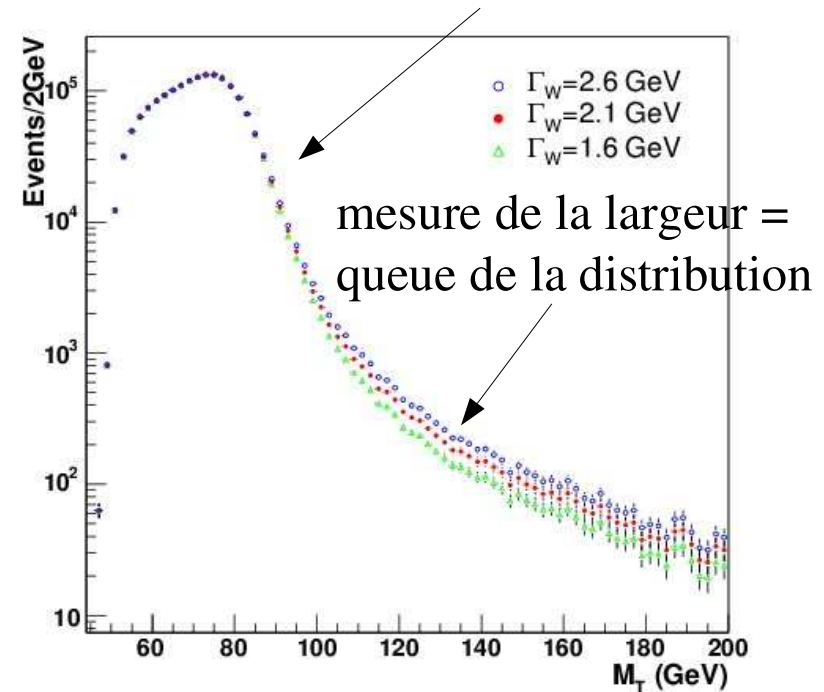
Pick-event massif pour un reprocessing



# Mesure directe de la largeur $\Gamma_W$

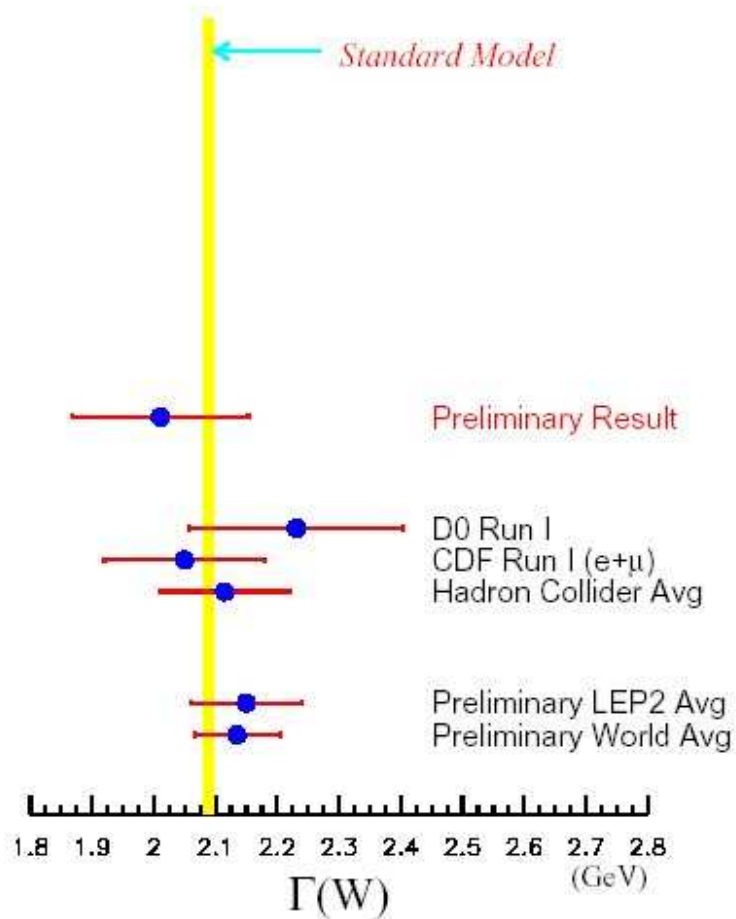
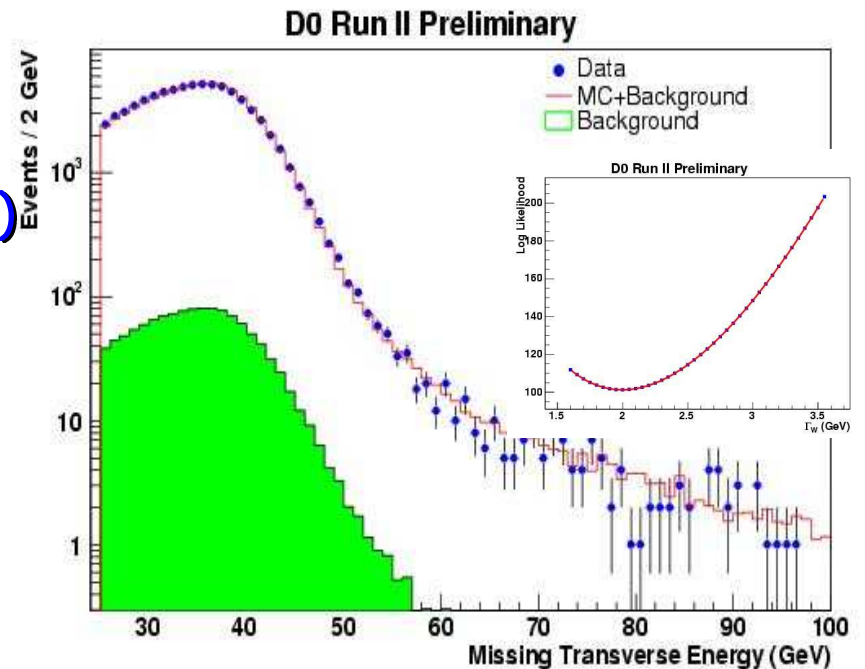
- Moins sensible aux problèmes du calorimètre que la mesure de la masse.
- Nécessite des outils et des études communs à la mesure de la masse, mais avec une précision moindre :
  - Réponse électromagnétique, Réponse du calorimètre hadronique, étude du recul.
- Après cette mesure, la mesure de la masse ne commence pas from scratch.

Mesure de la masse =  
bord de la distribution



# Mesure directe de la largeur $\Gamma_W$

- $177 \text{ pb}^{-1}$
- Une mesure compétitive avec D0 Run I
  - $\Gamma_W = 2.011 \pm 0.093 \text{ (stat)} \pm 0.099 \text{ (sys)}$



$$\Gamma_W = 2.231 \pm 0.173$$

$$\Gamma_W = 2.050 \pm 0.130$$

$$\Gamma_W = 2.115 \pm 0.105$$

$$\Gamma_W = 2.150 \pm 0.091$$

$$\Gamma_W = 2.135 \pm 0.069$$



## Conclusion

- Un programme physique très vaste.
- De nombreux résultats :
  - Sections efficaces  $Zee$ ,  $Z\mu\mu$ ,  $W_{\nu}$
  - Production de diboson.
  - Largeur du  $W$
- De nombreux sujets montrent du retard par rapport à CDF.
  - asymétries, masse,  $W_{\mu\nu}$ .
- Certains sujets ne sont pas couverts
  - Asymétrie du Drell-Yann.  $W \rightarrow \tau\nu$
- Au sujet de la masse
  - La mesure de la masse commence un peu tard
  - Est-ce que la compréhension actuelle du calo est suffisante ?
  - Est-ce que les objectifs de D0 sont tenables (40 MeV) ?

# Backup





# CDF W Mass Systematic Uncertainties

Systematic	Electrons (Run 1b)	Muons (Run 1b)
Lepton Energy Scale and Resolution	70 (80)	30 (87)
Recoil Scale and Resolution	50 (37)	50 (35)
Backgrounds	20 (5)	20 (25)
Statistics	45 (65)	50 (100)
Production and Decay Model	30 (30)	30 (30)
Total	105 (110)	85 (140)

CDF RUN II  
PRELIMINARY

*Total uncertainty (76 MeV) already lower than Run 1 (79 MeV)*

Some uncertainties scaled better than statistics:

\* Muon energy scale → now using  $J/\psi$ 's, upsilons to set scale

Work in progress on other sources of uncertainty:

\* Recoil resolution → to understand hard interaction better

\* Electron energy scale → to understand passive material better

*Have twice the data on tape*

Could approach 50 MeV combined uncertainty by next year

C. Hays, Duke University, ICHEP 2004



Channel	# events	Purity (%)	Luminosity Used (pb <sup>-1</sup> )	$\epsilon * A$ (%)	coverage
<b>W→eν CDF</b>	<b>48.0K</b>	<b>94.0</b>	<b>72</b>	<b>23.1</b>	<b>2.8</b>
<b>DZero</b>	<b>117K</b>	<b>97.0</b>	<b>177.3</b>	<b>22.5</b>	<b>central</b>
<b>W→μν CDF</b>	<b>57K</b>	<b>90.5</b>	<b>193.5</b>	<b>9.6</b>	<b>central</b>
<b>Dzero</b>	<b>8.3K</b>	<b>88.0</b>	<b>17</b>	<b>13.2</b>	<b>1.6</b>
<b>Z→ee CDF</b>	<b>4.2K</b>	<b>98.5</b>	<b>72</b>	<b>22.7</b>	<b>2.8</b>
<b>DZero</b>	<b>4.6K</b>	<b>98.0</b>	<b>177.3</b>	<b>10</b>	<b>central</b>
<b>Z→μμ CDF</b>	<b>3.6K</b>	<b>99.6</b>	<b>193.5</b>	<b>7.3</b>	<b>central</b>
<b>DZero</b>	<b>6.1K</b>	<b>98.9</b>	<b>148</b>	<b>30.0</b>	<b>1.8</b>

## Similar efficiencies and purities

- CDF: Includes forward electrons
- DØ : Includes forward muons
- Improved stat + combined results in the near future

# Lepton universality

e- $\mu$  universality tested with  $R_\mu/R_e = g^2_\mu/g^2_e$  by CDF  
 $g_\mu/g_e = 0.998 \pm 0.004_{\text{sta}} \pm 0.011_{\text{sys}}$

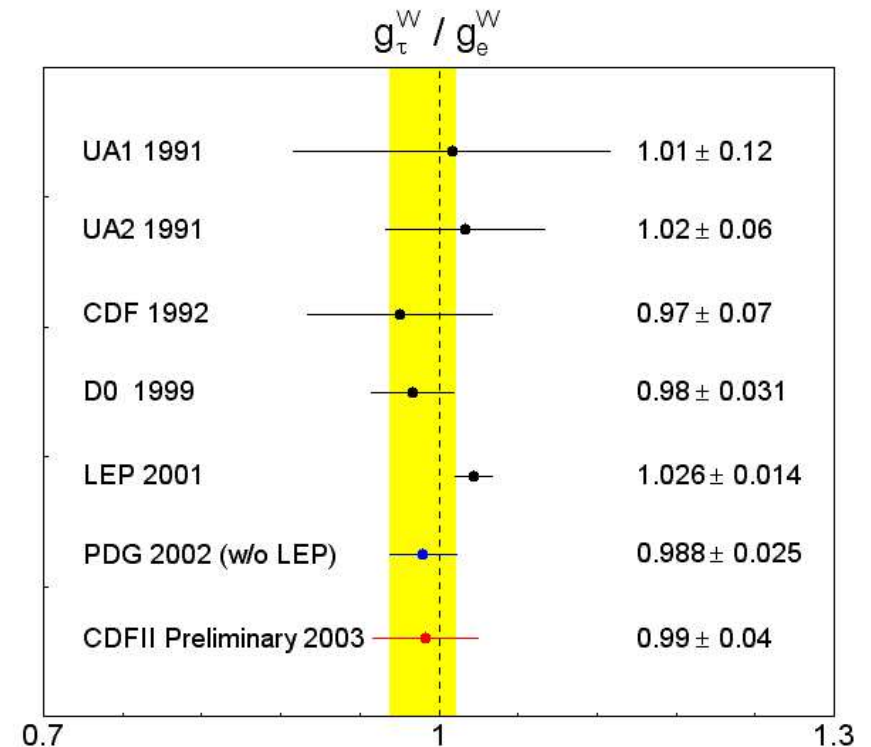
R combined e and  $\mu$

$$\sigma \times \text{Br}(W \rightarrow l\nu) = 2775 \pm 10_{\text{sta}} \pm 53_{\text{sys}} \pm 167_{\text{lum}} \text{ pb}$$

$$\sigma \times \text{Br}(Z/\gamma^* \rightarrow l^+l^-) = 254.9 \pm 3.3_{\text{sta}} \pm 4.6_{\text{sys}} \pm 15.2_{\text{lum}} \text{ pb}$$

$$\text{Br}(W \rightarrow \tau\nu)/\text{Br}(W \rightarrow e\nu) = 0.99 \pm 0.04 \pm 0.07$$

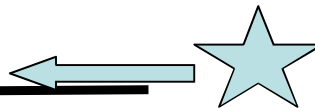
$$\rightarrow g_\tau/g_e = 0.99 \pm 0.02_{\text{sta}} \pm 0.04_{\text{sys}}$$



# Stat Error, W Width

Source	$\Delta\Gamma(W)$ (MeV)
EM Energy Resolution	51
HAD Energy Resolution	50
W Underlying Event vs MB events	47
HAD Momentum Response	40
EM Energy Scale	23
pT(W)	29
PDF	27
W Boson Mass	15
Primary Vertex	10
Selection Bias	10
Position Resolution	7
Underlying Event Correction	4
Backgrounds	3
Radiative Decays	3
Total Systematic Uncertainty	107
Total Statistical Uncertainty	93
Total Uncertainty	42

**For the W mass measurement, we can not hide behind the stat error. Run I stat error 70 MeV for 82 pb<sup>-1</sup>. For 500 pb<sup>-1</sup> -> 33 MeV**



	Run II p14	Run I
Electron resolution at 40 GeV	1.8 GeV	.98 GeV
Uparallel resolution	4.3 GeV	4.3 GeV
$M_T$ res at 80 GeV	5.6 GeV	4.7 GeV

	Run I	Run II p14->p17
Calorimeter resolution at 40 GeV	.98 GeV	4% (1.8 GeV) ->2%? (1.2 GeV)
RMS of MET from UE	4.3 GeV	4.3 GeV ->??

# Electroweak Physics: Properties of W and Z bosons

## Measurement of the W mass at the LHC

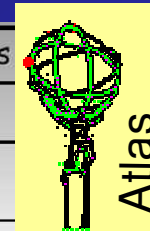
$m_W$  is important parameter in precision tests of the SM

2004:  $m_W = 80\,425 \pm 34 \text{ MeV}$  LEP & Tevatron Run I

2007:  $m_W \approx 80 \dots \pm 20 \text{ MeV}$  ( $2.5 \cdot 10^{-4}$ ) incl. Tevatron Run II

Improvement at the LHC requires control of systematic error to  $10^{-4}$  level

Source	CDF Run Ib	ATLAS or CMS	$W \rightarrow l \nu$ , one lepton species
	30K evts, 84 pb <sup>-1</sup>	60M evts, 10fb <sup>-1</sup>	
Statistics	65 MeV	< 2 MeV	
Lepton scale	75 MeV	15 MeV	most serious challenge
Energy resolution	25 MeV	5 MeV	known to 1.5% from Z peak
Recoil model	33 MeV	5 MeV	scales with Z statistics
W width	10 MeV	7 MeV	$\Delta\Gamma_W \approx 30 \text{ MeV}$ (Run II)
PDF	15 MeV	10 MeV	
Radiative decays	20 MeV	< 10 MeV	(improved Theory calc)
$P_T(W)$	45 MeV	5 MeV	$P_T(Z)$ from data, $P_T(W)/P_T(Z)$ from theory
Background	5 MeV	5 MeV	
<b>TOTAL</b>	<b>113 MeV</b>	<b>≤ 25MeV</b>	Per expt, per lepton species



• Take advantage from large statistics

$Z \rightarrow e^+e^-, \mu^+\mu^-$

• Combine channels & experiments

⇒  $\Delta m_W \leq 15 \text{ MeV}$

# Drell-Yan Lepton-Pair Production

## ➤ Forward-backward asymmetry

estimate quark direction

assuming  $x_q > x_{\bar{q}}$

## ➤ Measurement of $\sin^2\vartheta_w$ effective

- 2004: LEP & SLD

$$\sin^2\vartheta_w = 0.23150 \pm 0.00016$$

## ➤ $A_{FB}$ around Z-pole

- large cross section at the LHC

$$\sigma(Z \rightarrow e^+e^-) \approx 1.5 \text{ nb}$$

- stat. error in  $100 \text{ fb}^{-1}$   
incl. forward electron tagging  
(per channel & expt.)

$$\Delta\sin^2\vartheta_w \approx 0.00014$$

## ➤ Systematics (probably larger)

- PDF
- Lepton acceptance
- Radiative corrections

