

# Etudes du quark top au Tevatron



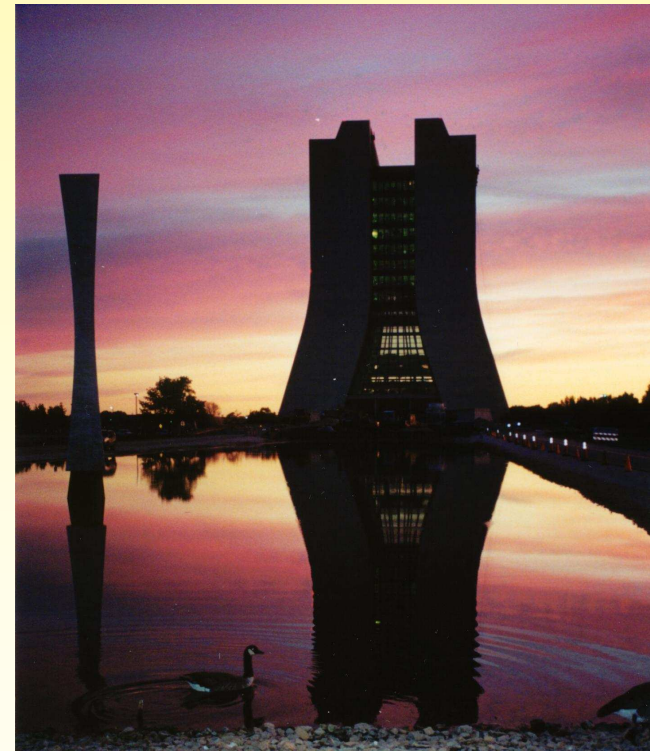
Frédéric Déliot  
CEA-Saclay



Séminaire LAL, 22 janvier 2007

# Plan de l'exposé

- Introduction
  - pourquoi étudier le quark top ?
  - juste un peu d'histoire
- Le Tevatron
- La production par paire
  - section efficace, recherche résonance  $t\bar{t}$
  - masse
  - quelques autres propriétés
- Production électrofaible
- Conclusion



# Pourquoi étudier le quark top ?

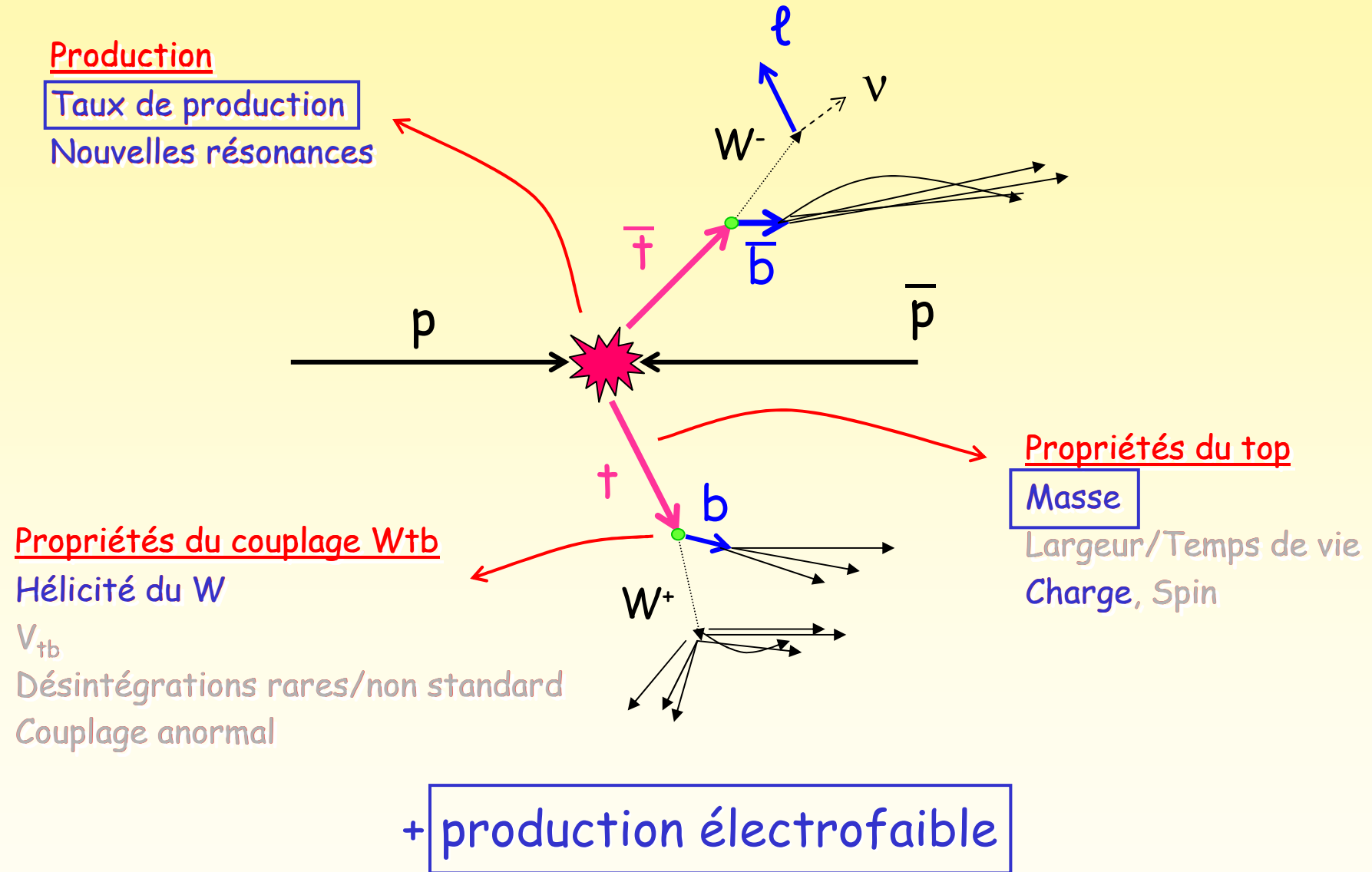
- C'est le quark le plus « jeune »
  - découverte au Tevatron il y a 12 ans
  - beaucoup de propriétés restent à étudier avec précision
- C'est la particule élémentaire la plus lourde
  - $\sim 40$  fois plus lourde que son partenaire le quark b
  - couplage de Yukawa au boson de Higgs proche de 1
  - seul quark à se désintégrer avant de s'hadroniser: accès à ses propriétés directement

rôle particulier ?

- La physique du quark top est riche



# Physique du quark top



# Un peu d'histoire

- Premières recherches directes

- après la découverte du c et du b, recherche de toponium  $t\bar{t}$  vers 27 GeV

- recherches sur collisionneurs  $e^+e^-$ :

- DESY-PETRA (1980),  $\sqrt{s} = 12-36 \text{ GeV} \Rightarrow M_{\text{top}} > 30 \text{ GeV}$

- LEP 1 (1989),  $\sqrt{s} = 91 \text{ GeV} \Rightarrow M_{\text{top}} > 45.8 \text{ GeV}$

- recherches sur collisionneurs  $p\bar{p}$ :

- UA1 et UA2 (1981→1990),  $\sqrt{s} = 640 \text{ GeV} \Rightarrow M_{\text{top}} > 69 \text{ GeV}$

- Tevatron Run I (1990→1992),  $\sqrt{s} = 1.8 \text{ TeV} \Rightarrow M_{\text{top}} > 91 \text{ GeV}$

- Recherches indirectes:

- mesures de précision des observables sensibles aux corrections radiatives

- dépendance quadratique en  $M_{\text{top}}$

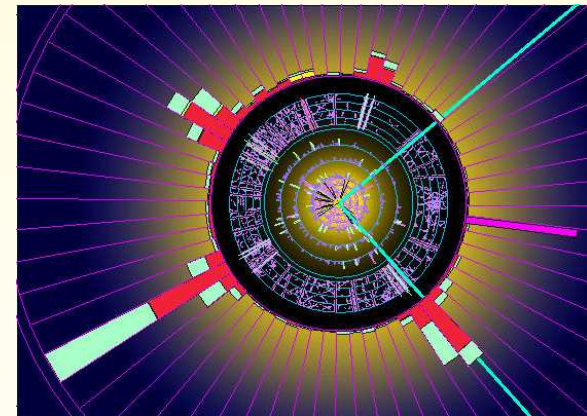
- LEP (1994):  $M_{\text{top}} = 177 \pm 21 \text{ GeV}$

- Découverte au Tevatron:

- Tevatron Run I (1995),  $\sqrt{s} = 1.8 \text{ TeV}$

- $M_{\text{top}} = 176 \pm 8 \text{ (stat)} \pm 10 \text{ (syst)} \text{ GeV (CDF)}$

- $M_{\text{top}} = 199 \pm 19 \text{ (stat)} \pm 22 \text{ (syst)} \text{ GeV (D0)}$

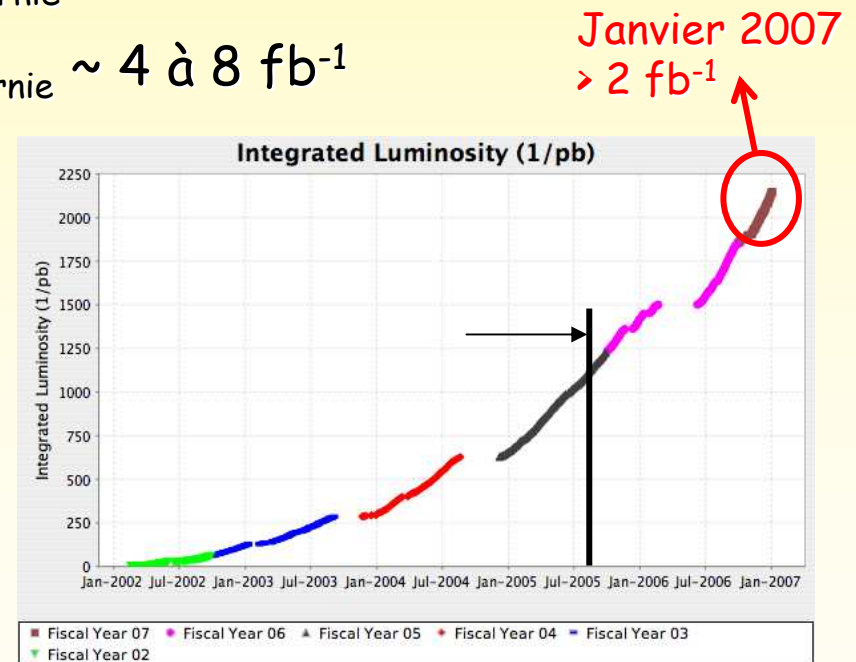


# Le Tevatron

- collisionneur  $p\bar{p}$ ,  $\sqrt{s} = 1.96 \text{ TeV}$ 
  - temps de croisement: 396 ns, 36x36 paquets
  - expériences CDF et D0
- période de prise de données:
  - Run I (1993-1996):  $L_{\text{fournie}} \sim 120 \text{ pb}^{-1}$  / expérience
  - Run IIa (2002 - mars 2006):  $L_{\text{fournie}} \sim 1.5 \text{ fb}^{-1}$
  - Run IIb (août 2006 - 2009):  $L_{\text{fournie}} \sim 4 \text{ à } 8 \text{ fb}^{-1}$



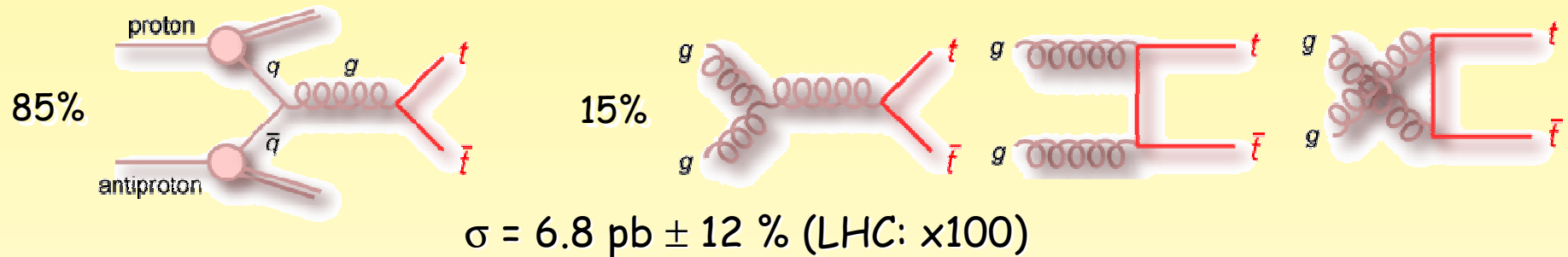
Efficacité typique de prise de données: 85%  
Taux de déclenchement au L1=1kHz, L3=50Hz



Dans cette présentation  
Résultats avec  $L_{\text{enregistrée}} \leq 1 \text{ fb}^{-1}$

# Le quark top au Tevatron

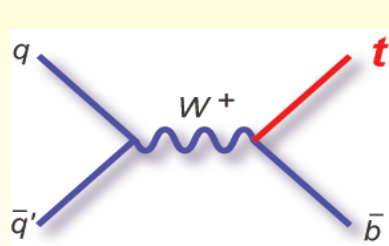
- Mode de production dominant par interaction forte (paire)



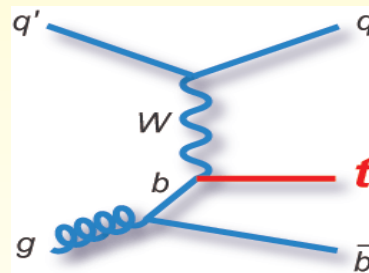
Typiquement pour  $1 \text{ fb}^{-1}$ :

$$N \times Br \times A = 6800 \times 0.3 \times 0.15 \sim 300 \text{ evts (lepton + jets)}$$

- Mode de production électrofaible (*single top*)



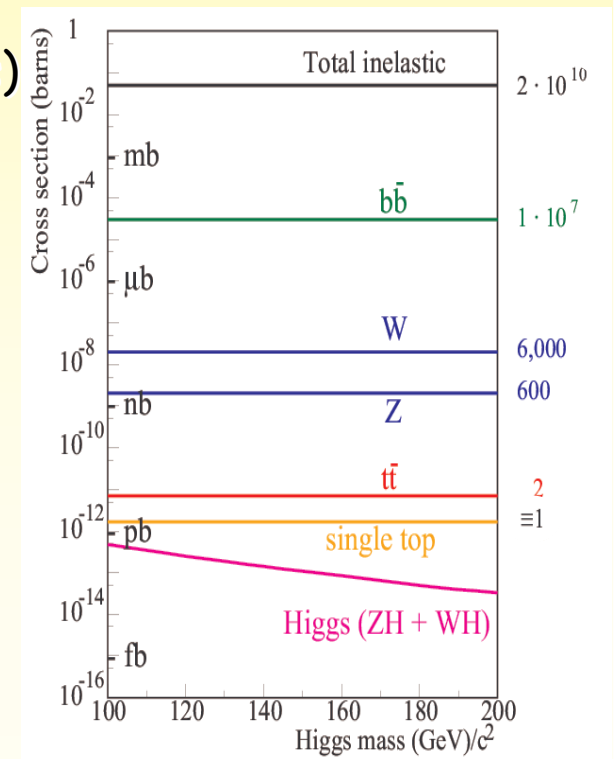
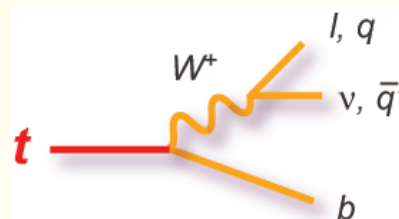
voie s:  $\sigma = 0.88 \pm 8\% \text{ pb}$



voie t:  $\sigma = 1.98 \pm 12\% \text{ pb}$

- Désintégration

$t \rightarrow Wb: \sim 100\%$



# Signature de la production par paire

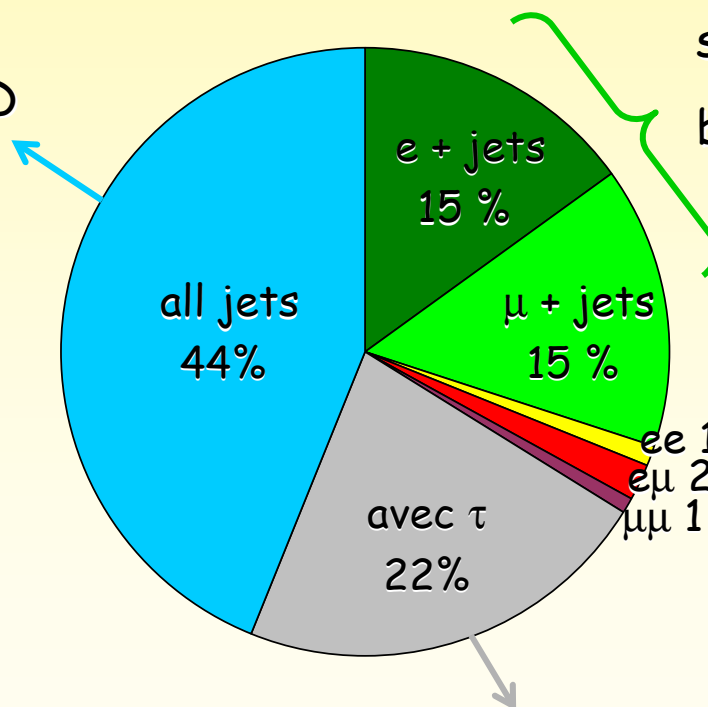
- désintégration du top:  $t \rightarrow Wb \sim 100\%$

→ signature suivant les modes de désintégrations du W



forte statistique

bdf difficile: QCD



statistique raisonnable

bdf: W/Z +jets, QCD

faible statistique

peu de bdf:  
Z+jets, WW+jets,  
Z( $\tau\tau$ )+jets

difficile à identifier



# Mesure de la section efficace $t\bar{t}$

- Intérêt de la mesure

- maîtrise de la sélection  $t\bar{t}$  et des bruits de fond

- validation des calculs + dépendance avec  $M_{\text{top}}$  :  $\Delta\sigma(t\bar{t})/\sigma \approx 5\Delta M_{\text{top}}/M_{\text{top}}$

- recherche de phénomènes au delà du MS:

- résonance lourde se désintégrant en  $t\bar{t}$

- ex: topcolor,  $gg \rightarrow H/A \rightarrow t\bar{t}$  ( $m_{H,A} > 2m_t$ , faible  $\tan\beta$ ), ...

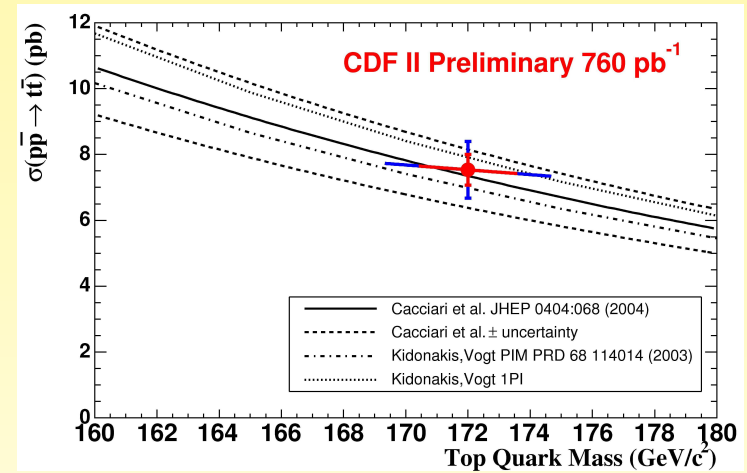
- recherche de pic dans le spectre de masse invariante  $t\bar{t}$

- désintégration non standard du top

- ex:  $t \rightarrow H^+b$ , FCNC (vertex  $tgq$ ), opérateurs de dimension  $> 4$

- recherche de déviation à  $\text{Br}(t \rightarrow Wb) = 100\%$

- (taux de production non standard)



# Canal lepton ( $e, \mu$ ) + jets

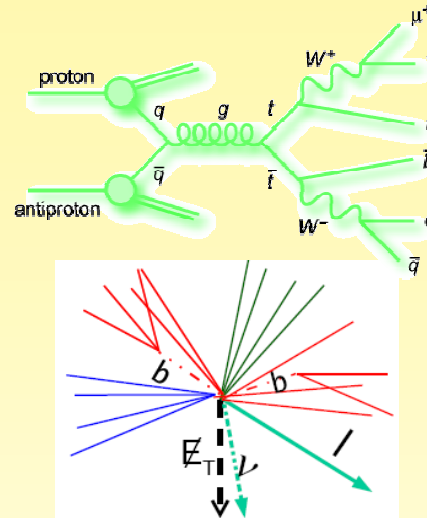
- Signature:

Lepton de haut  $P_T$  isolé

Grande  $E_T$

4 jets (2 jets de b)

+ grande énergie,  
centrale, sphérique



- Selection:

Trigger lepton (+jets)

$P_T(\ell) > 20 \text{ GeV}$ , isolé

$E_T > 20 \text{ GeV}$

$P_T(\text{jet}) > 15 \text{ GeV}$

- 2 stratégies:

→ **topologie**: likelihood ou NN basé sur variables cinématiques (aplanarité, sphéricité,  $H_T$ , angles, masses invariantes, ...)

→ **b-tagging** (reconstruction d'un vertex secondaire venant du b)

- Acceptance:

~ 10 % (4 jets, avant tagging)

- typiquement S/B:

1/5 (3 jets, topologique)

2/1 (3 jets, b-tag)

- Bruit de fond:

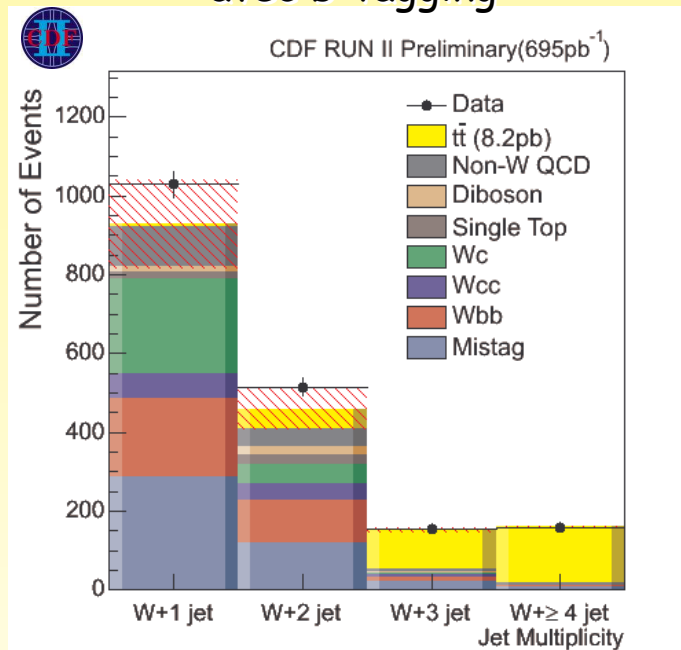
→ W + jets : MC Alpgen, normalisé sur les données

→ non W (QCD) : faux lepton, déterminé dans les données

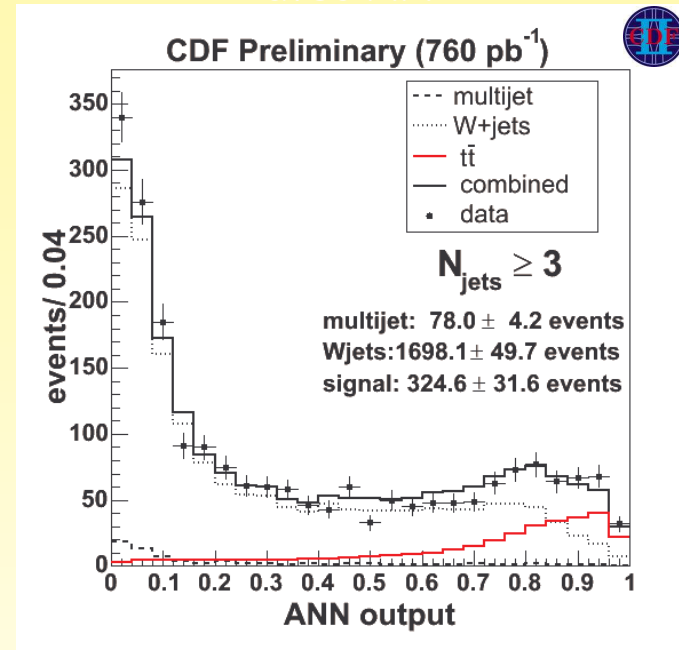
→ diboson, Z+jets : MC, sections efficaces du MS

# Résultats du canal lepton + jets

avec b-tagging



avec NN



$\geq 3$  jets : données: 156, bdf:  $53.0 \pm 6.3$

$\sigma(t\bar{t}) = 8.2 \pm 0.6$  (stat)  $\pm 1.0$  (sys) pb

$\geq 3$  jets : données: 2102, fitted  $t\bar{t}$ :  $324.6 \pm 31.6$

$\sigma(t\bar{t}) = 6.0 \pm 0.6$  (stat)  $\pm 0.9$  (sys) pb

$\sim 18\%$

• **systématiques dominantes:**

→ b-tagging : 6.5 % (b-tag), bdf W+jets :  $\sim 10\%$  (NN)

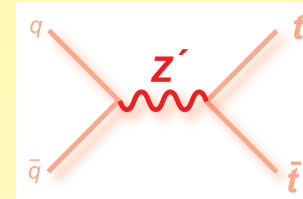
→ PDF :  $\sim 5\%$ , luminosité :  $\sim 6\%$

→ échelle d'énergie des jets (JES) :  $\sim 3-8\%$

# Recherche de résonance $t\bar{t}$

• Des phénomènes non standard peuvent donner des résonances dans le spectre  $t\bar{t}$ :

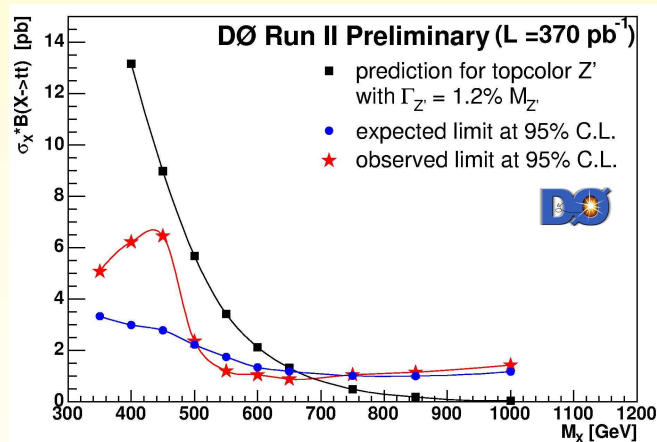
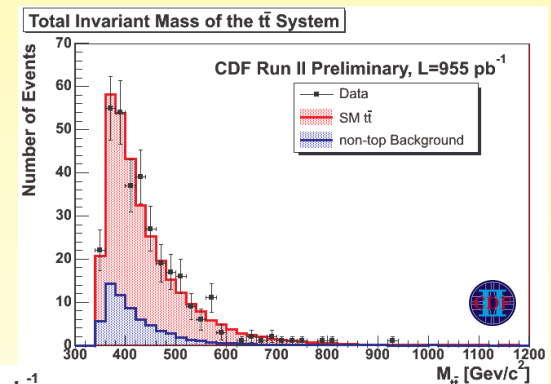
→  $Z'$ , topcolor, KK, ...



• Recherche dans le canal  $\ell$ +jets avec b-tagging

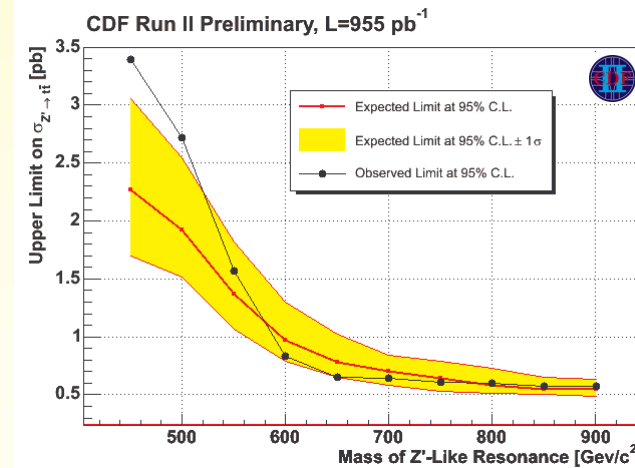
→ reconstruction du spectre  $t\bar{t}$  par un fit cinématique

→ modèle de phénomène nouveau : boson neutre lourd avec les mêmes couplages que le  $Z^0$



Leptophobic topcolor  $Z'$

$M_{Z'} < 680$  GeV à 95% CL ( $\sigma \sim 1$  pb)

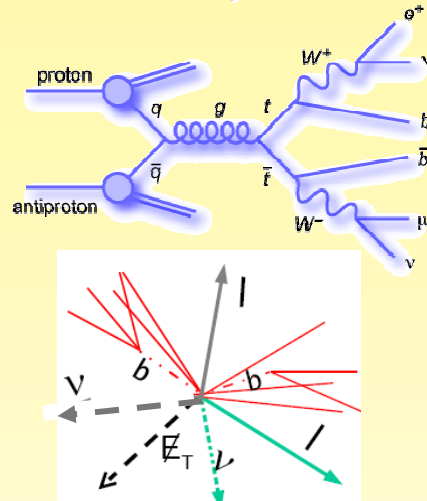


Pour  $M_{Z'} = 700$  GeV,  $\sigma < 0.64$  pb à 95% CL

# Canal dilepton ( $e, \mu$ )

- Signature:

- 2 leptons de haut  $P_t$  isolé
- Grande  $E_T$
- 2 jets de b
- + grande énergie, centrale, sphérique



- Selection:

- Trigger (di)lepton (+jets)
- $P_t(\ell) > 15-20 \text{ GeV}$ , isolé
- $(E_T > 20-25 \text{ GeV})$
- $P_t(\text{jet}) > 15 \text{ GeV}$

- stratégie complémentaire:

- lepton + track : trace isolée

- besoin du b-tagging pour augmenter la pureté

- Acceptance:

- ~ 15 %

- typiquement S/B:

- 2/1

- Bruit de fond:

- Z + jets :  $Z \rightarrow ee/\mu\mu$  + faux  $E_T$  ou  $Z \rightarrow \tau\tau$ , MC Alpgen, normalisé sur les données

- faux lepton (QCD) : déterminé dans les données

- diboson (WW, WZ) : MC, sections efficaces du MS

# Méthode de mesure des efficacités des leptons

- un exemple: efficacité de trigger muon

- mesurée dans les données à partir d'événements  $Z^0 \rightarrow \mu\mu$
- méthode *tag and probe* : un muon de contrôle et un muon de test
- basée sur le fait qu'on peut obtenir un échantillon *pur* de  $Z^0$  en utilisant un seul muon complètement identifié
- on applique les efficacités mesurées dans les données sur le MC

- exemple de trigger pour le canal  $t\bar{t} \rightarrow e\mu$  dans D0 :

- trigger utilisé  $e\mu$  (non prescalé):

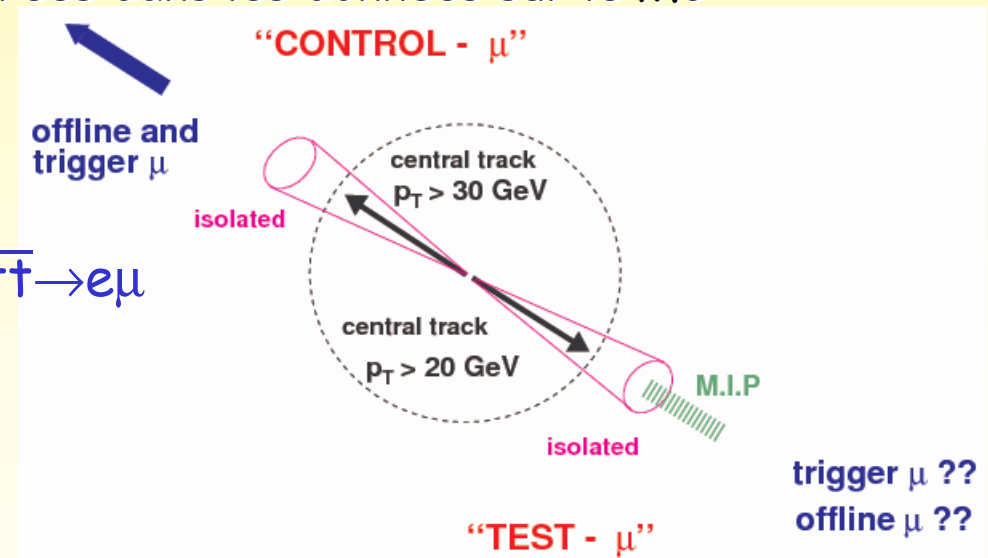
- L1:  $\mu + E_t(\text{EM}) > 6\text{GeV}$

- L2:  $P_t(\mu) > 5\text{GeV} + E_t(\text{EM}) > 6\text{GeV}$

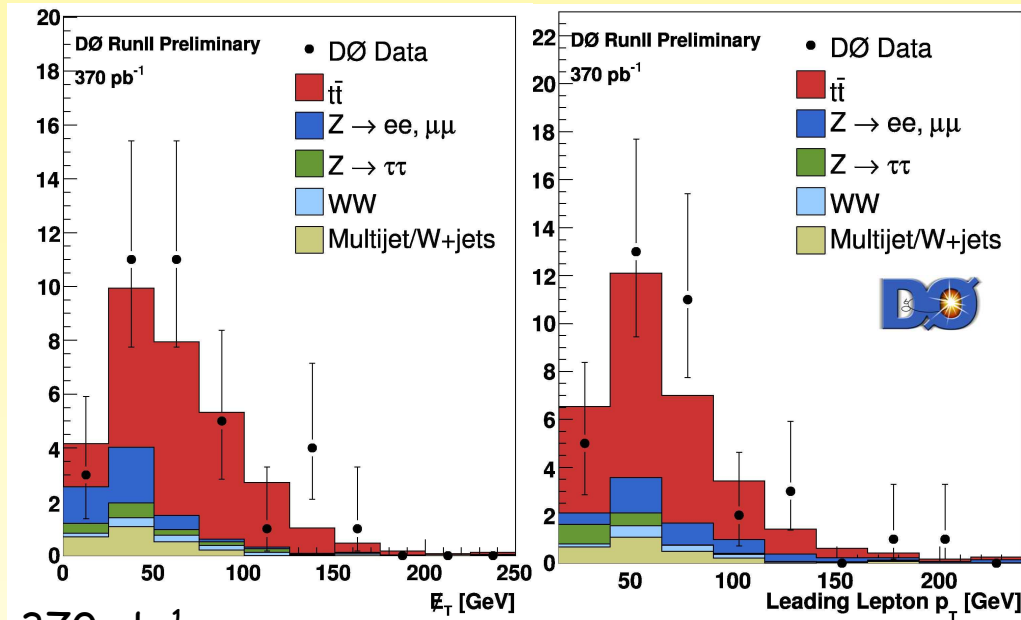
- L3:  $P_t(\text{trace}) > 5\text{GeV} + E_t(\text{EM}) > 12\text{GeV}$

- efficacité sur le signal  $t\bar{t}$  :  $\varepsilon \sim 70\%$

- (amélioration possible: OR de triggers)

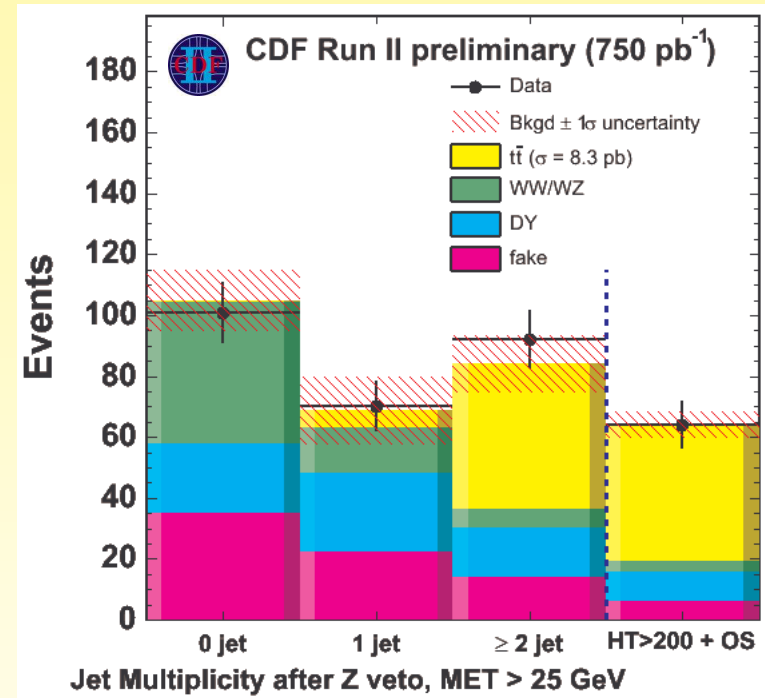


# Résultats du canal dilepton



370 pb<sup>-1</sup>:

$$\sigma(t\bar{t}) = 8.6 \pm 1.8 \text{ (stat)} \pm 1.1 \text{ (sys)} \pm 0.6 \text{ (lumi)} \text{ pb}$$



750 pb<sup>-1</sup>:

$$\sigma(t\bar{t}) = 8.3 \pm 1.5 \text{ (stat)} \pm 1.0 \text{ (sys)} \pm 0.5 \text{ (lumi)} \text{ pb}$$

~ 22%

- **systématiques dominantes:**

→ luminosité : ~ 6%

→ efficacité de trigger sur les leptons : ~ 5%

→ échelle d'énergie des jets (JES) : ~ 3-5%

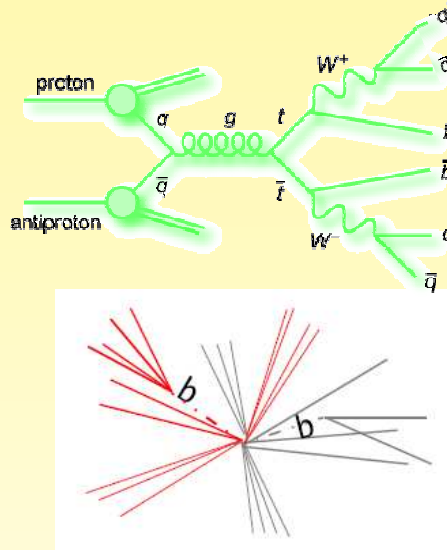
→ modélisation MC du bdf : ~ 3%

# Canal hadronique

- Signature:

6 jets dont 2 jets de b

+ grande énergie, centrale, sphérique



- Selection:

Multijet trigger  
(4 jets,  $P_T > 10-25 \text{ GeV}$   
+ CDF:  $H_T > 125 \text{ GeV}$ )

Au moins 6 jets

D0:  $P_T(\text{jet}) > 45-20 \text{ et } 15 \text{ GeV}$

aplanarité, sphéricité, ...

CDF: NN ( $H_T, M_{jj}, M_{jjj}, \text{angles}, \dots$ )

## Rôle essentiel du b-tagging

Combinatoire importante

- Acceptance:

~ 2-4 %

- typiquement S/B:

1/2 (CDF) - 1/4 (D0)

- Bruit de fond:

→ QCD : déterminé dans les données (données 4 jets)

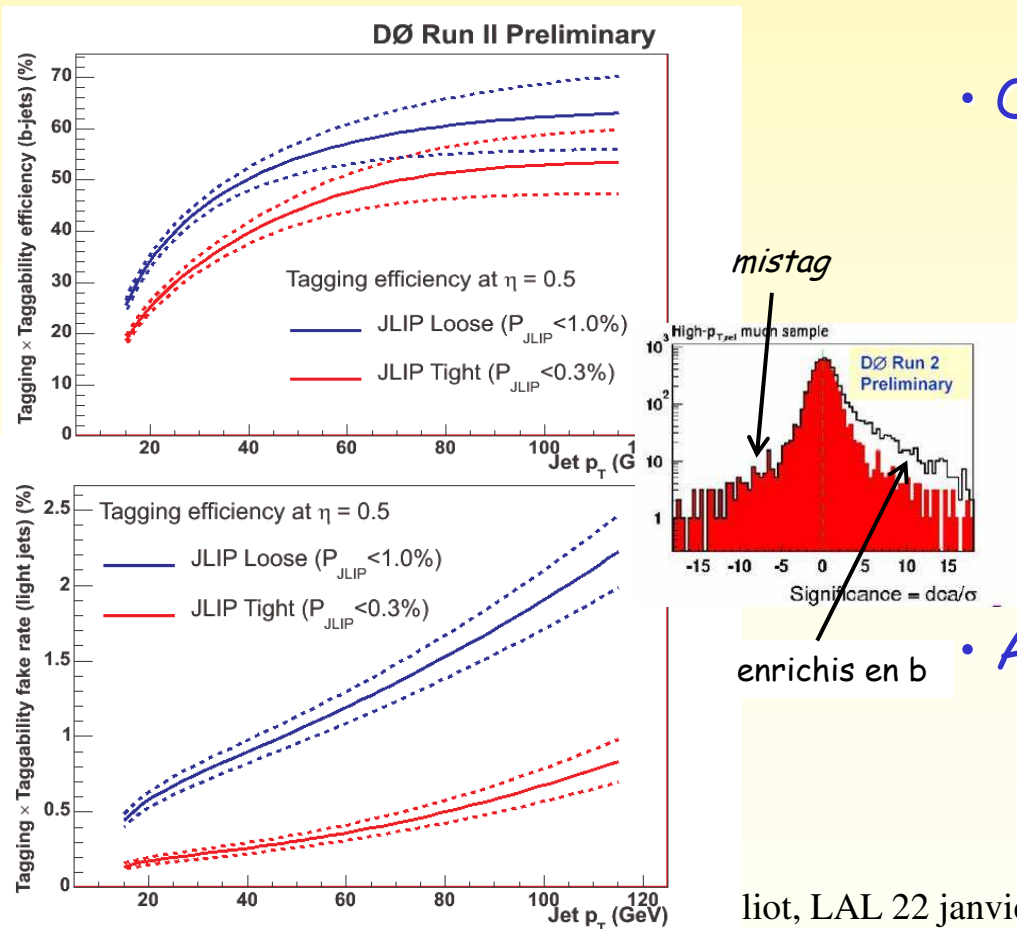
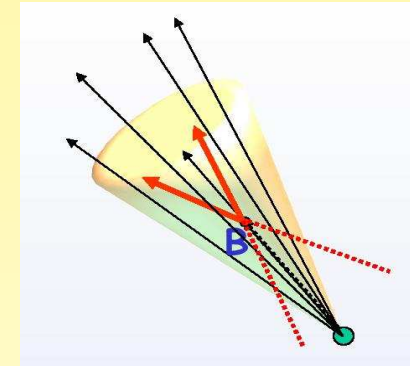


# Etiquetage des quarks b

- propriétés des quarks b:

→ les hadrons b volent avant de se désintégrer ( $c\tau \sim 0.5\text{mm}$ )

→ les hadrons b peuvent se désintégrer semi-leptoniquement:  $b \rightarrow \mu\nu c$



- On utilise pour le b-tag:

→ le fait que les traces issues du b ont un grand paramètre d'impact

→ qu'on a reconstruit un vertex secondaire

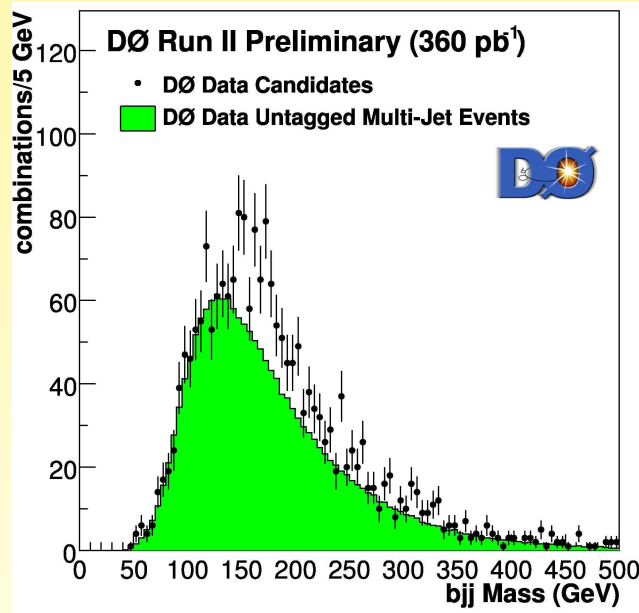
→ qu'il y a un  $\mu$  dans un jet

→ combinaison de tous ces critères dans un NN

- Au Tevatron typiquement:

→  $\epsilon \approx 50\%$  pour 0.6-1% de mauvaise identification (mesurée dans les données)

# Résultats du canal hadronique

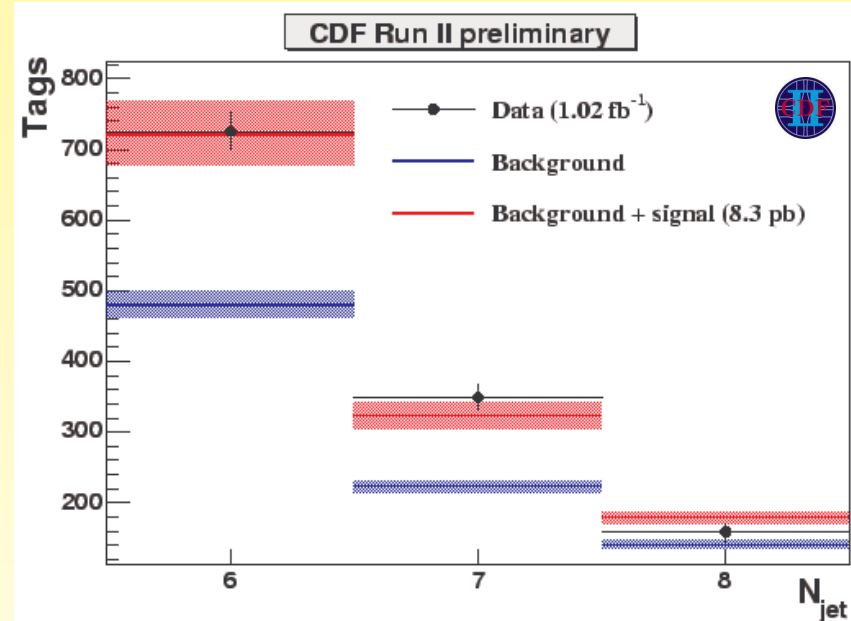


360 pb<sup>-1</sup>:

$$\sigma(t\bar{t}) = 12.1 \pm 4.9 \text{ (stat)} \pm 4.6 \text{ (sys)} \text{ pb}$$

• **systematiques dominantes:**

- échelle d'énergie des jets (JES) : ~ 15%
- efficacité de b-tagging : ~ 18%
- D0: soustraction du bdf : ~ 25 %

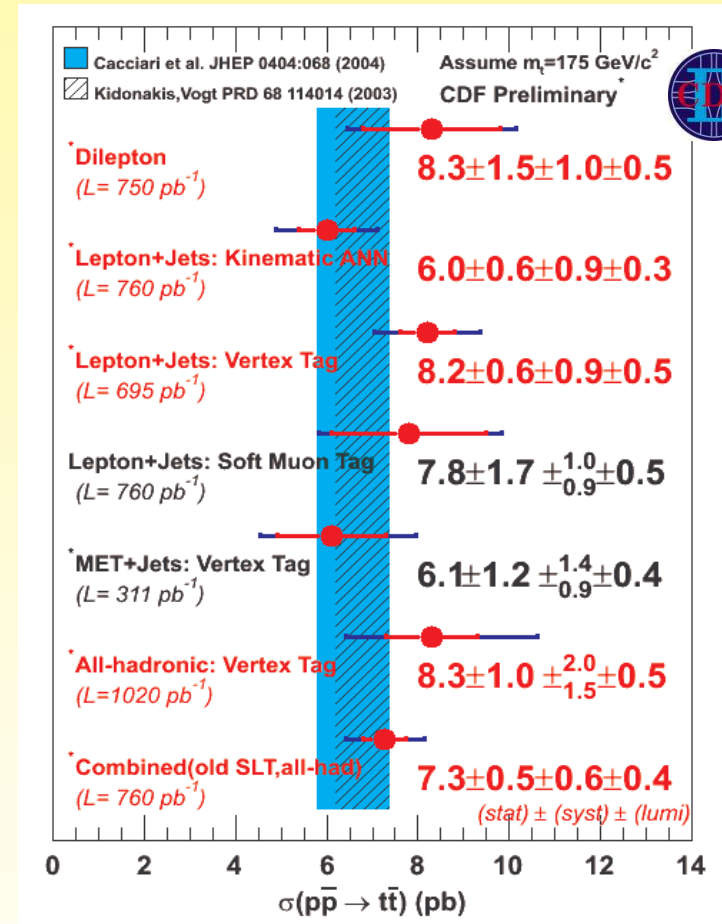
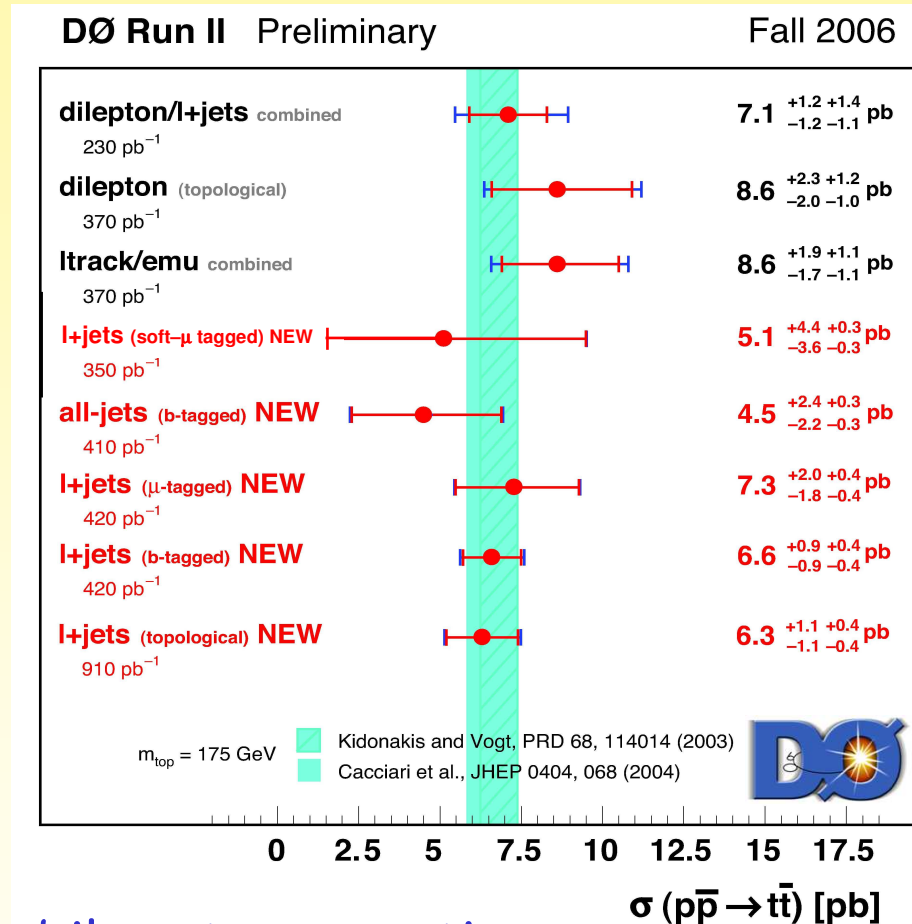


1.02 fb<sup>-1</sup>:

$$\sigma(t\bar{t}) = 8.3 \pm 1.0 \text{ (stat)} \overset{+1.0}{-1.5} \text{ (sys)} \pm 0.5 \text{ (lumi)} \text{ pb}$$

~ 25%

# Résumé des mesures actuelles de section efficace $t\bar{t}$



- bilan et perspectives:

- actuellement :  $\Delta\sigma_{t\bar{t}}/\sigma \sim 12 \%$  ( $\sim$  théorie), plus dominé par la statistique
- perspectives: si même systématique, 4 fb<sup>-1</sup>:  $\Delta\sigma_{t\bar{t}}/\sigma = 10 \%$
- LHC: 5-10% avec 10 fb<sup>-1</sup>

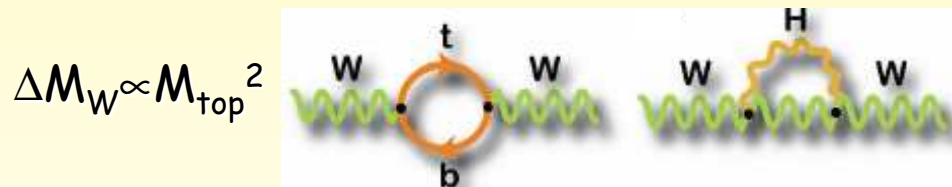
# Mesure de la masse du quark top

## • Intérêt de la mesure

→ Les observables électrofaibles dépendent fortement de la valeur de la masse du top (via les corrections radiatives)

⇒ Haute précision sur  $M_{\text{top}}$  requise pour :

- tests de précision du Modèle Standard (MS)
- contraintes sur la masse du boson de Higgs au sein du MS
- grande sensibilité à la physique au-delà du MS



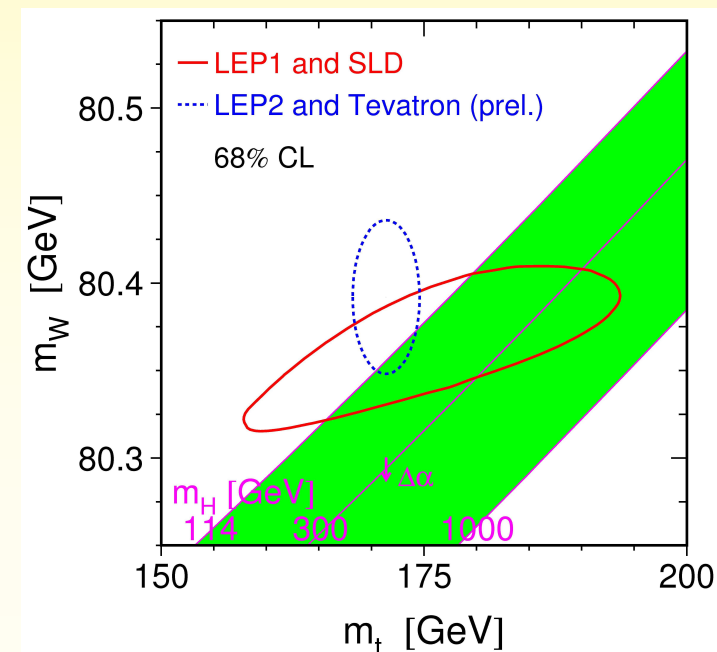
→ actuellement ( $\Delta M_{\text{top}} \sim 2 \text{ GeV}$ ,  $\Delta M_W \sim 25 \text{ MeV}$ )

$$m_H = 80^{+36}_{-26} \text{ GeV} \quad (\Delta m_H / m_H \sim 40\%)$$

→ avec  $\Delta M_{\text{top}} \sim 1 \text{ GeV}$ ,  $\Delta M_W \sim 15 \text{ MeV}$

même valeur de  $\Delta\alpha$  et  $M_{\text{top}} = 175 \text{ GeV}$

$$m_H = 63^{+22}_{-18} \text{ GeV} \quad (\Delta m_H / m_H \sim 30\%)$$



# Pourquoi est-ce une mesure difficile ?

- Pas seulement une reconstruction de masse invariante:

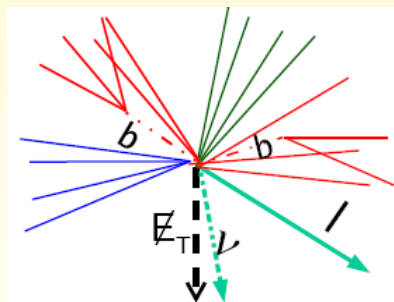
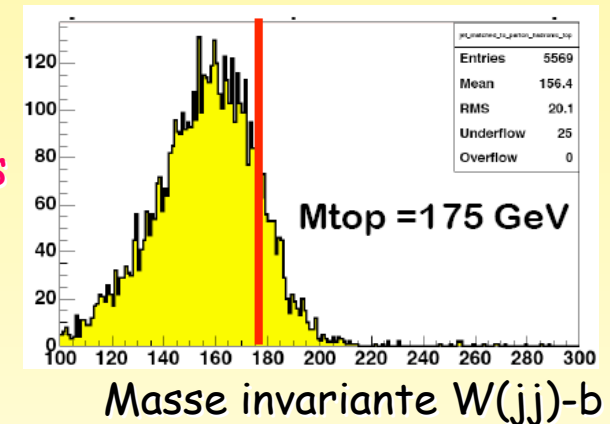
→ l'énergie mesurée des jets n'est pas l'énergie des quarks issus du top

⇒ Nécessite d'une bonne **correction de l'énergie des jets** et d'une bonne modélisation des *extra jets*

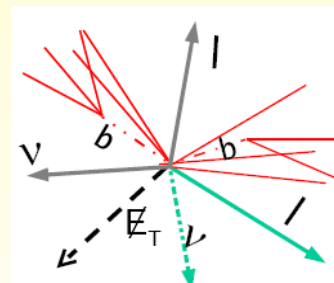
- Toutes les particules de l'état final ne sont pas mesurées (et il y a 2 tops)

→ neutrino(s) non détecté(s)

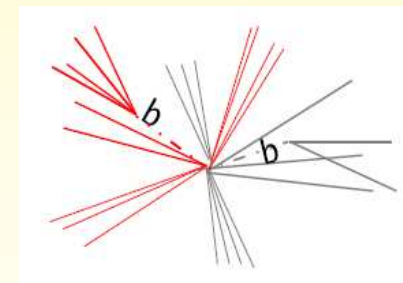
→ combinatoire (**importance du b-tag pour la réduire**)



1  $\nu$ , sur-contraint  
 (⇒ calibration in situ JES)  
 Combinatoire (1 btag): 6  
**Canal en or**



2  $\nu$ , sous-contraint  
 bdf et Br petit  
 Combinatoire : 2



sur-contraint  
 bdf et Br grand  
 Combinatoire : 90

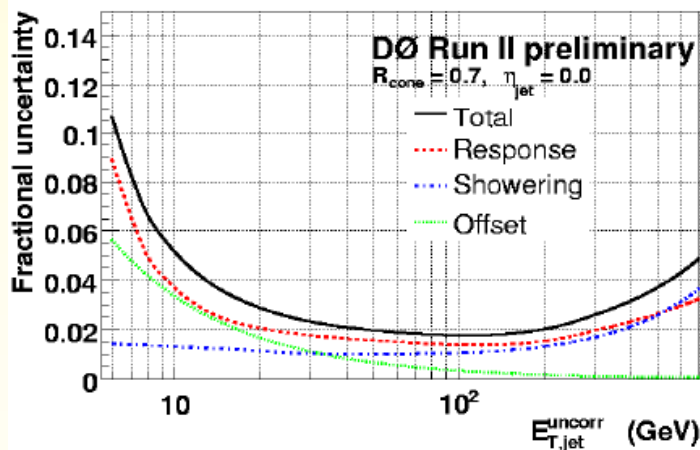
# Echelle d'énergie des jets dans D0 (JES)

• L'énergie mesurée dans le calorimètre ( $\Delta R < 0.5$ ) n'est pas l'énergie partonique, il faut tenir compte de:

- particules hors du cône
- différence de réponse entre  $h/\gamma$
- occupation dans le calorimètre: pile-up, bruit, interactions multiples (MI)

• déterminée avec :

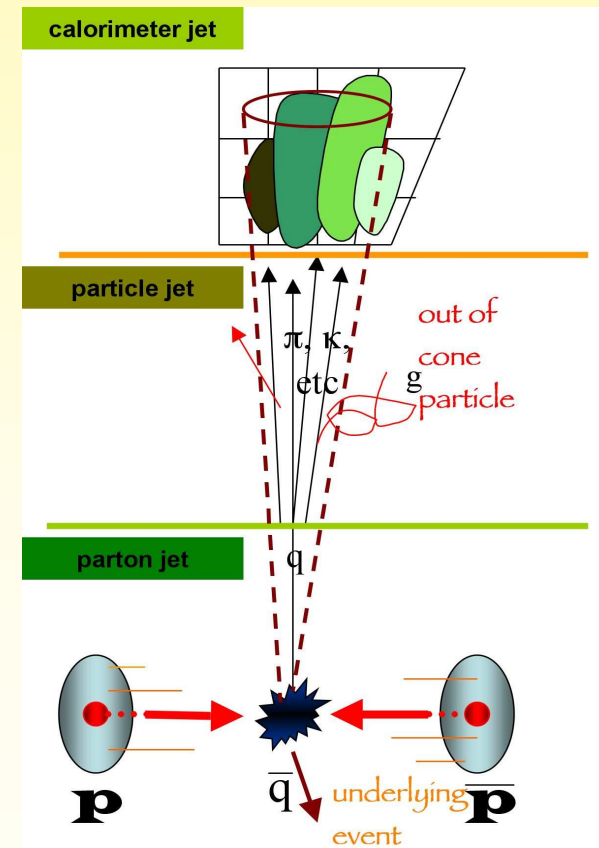
- événements  $\gamma$  + jets,  $Z$  + jets, zero/minimum biais, MC, ...



Typiquement incertitude ~ 2-4%

$$E_{\text{jet}}^{\text{corr}} = \frac{E_{\text{jet}}^{\text{reco}} - O}{R_{\text{jet}} S}$$

Offset (MI, bruit, pile-up)  
 Réponse du calorimètre  
 Showering (taille fixe du cône)



# Deux méthodes principales de mesure de la masse du top

## • template

→ reconstruction d'une observable cinématique bien choisie

→ création de *template* MC de cette observable pour différentes masses du top (signal + bdf)

→ likelihood fit pour choisir le meilleur *template* et extraire  $M_{\text{top}}$

### avantages:

→ tous les effets simulés sont pris en compte

→ relativement simple

### désavantages:

→ choix d'une seule observable

→ tous les evts ont le même poids

## • élément de matrice

→ construction d'une probabilité par evt en utilisant l'élément de matrice  $t\bar{t}$  → 6 corps (signal + bdf)

→ intégration sur les variables non mesurées

→ calibration de la mesure sur MC

→ likelihood avec cette probabilité pour extraire  $M_{\text{top}}$

### avantages:

→ meilleur pouvoir statistique

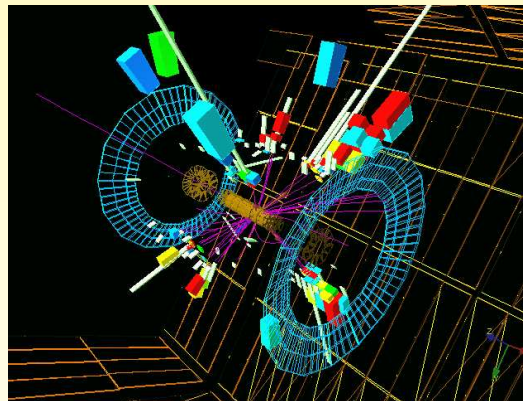
→ toute la cinématique de l'evt est prise en compte

→ poids selon les evts

### désavantages:

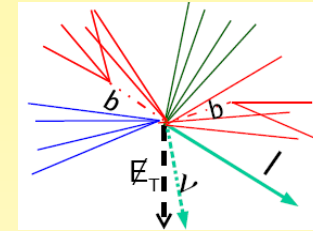
→ gourmand en CPU

→ pas de paramétrisation de la réponse de tous les objets



# Méthode de la matrice (canal $\ell$ +jets)

- construction d'une probabilité par événement:  
→ à partir de la section efficace différentielle



$$P_{evt}(x; M_{top}, JES, f_S) = f_S \cdot P_{tt}^-(x; M_{top}, JES) + (1 - f_S) P_{bdf}(x; JES)$$

$$P_{tt}^-(x; M_{top}, JES) = \frac{1}{Acc \times \sigma} \int d^6 \sigma(y; M_{top}) f(q_1) f(q_2) W(x, y, JES) dq_1 dq_2$$

élément de matrice  
LO  $\times$  espace des  
phases 6 corps

PDF

fonctions de transfert  
(proba d'avoir l'état  
partonique  $y$  quand on  
mesure  $x$ )

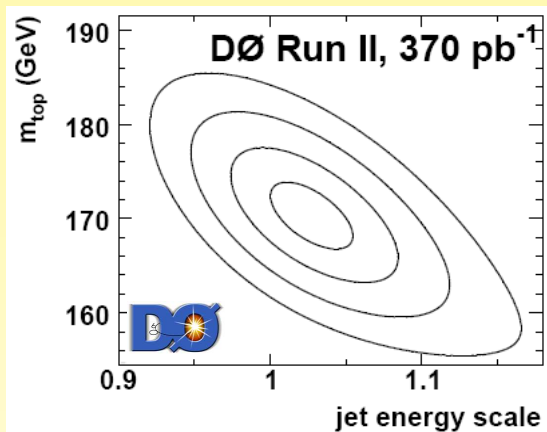
- Likelihood :  $\prod P_{evt}$
- $W = W_{jet} (\times W_{\mu})$

- par le canal lepton+jets:

- bdf:  $W$ +jets
- fit à la fois la fraction de signal  $f_S$ , la correction JES ( $M_{jj}=M_W$ ) et  $M_{top}$
- le fit de JES permet de réduire l'erreur systématique

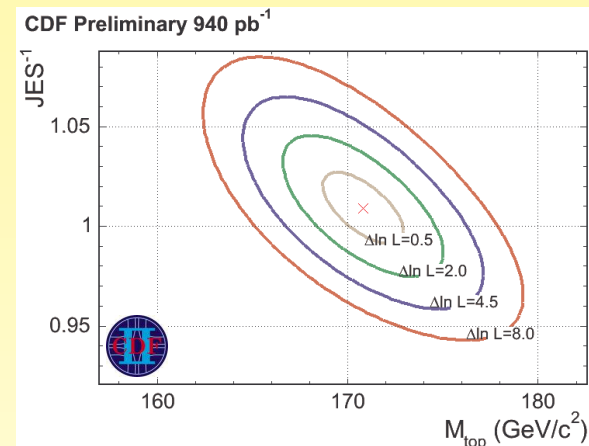


# Résultat du canal $\ell$ +jets (ME)



370 pb<sup>-1</sup>:

$$M_{\top} = 170.3^{+4.1}_{-4.5} \text{ (stat+JES)}^{+1.2}_{-1.8} \text{ (sys)} \text{ GeV}$$



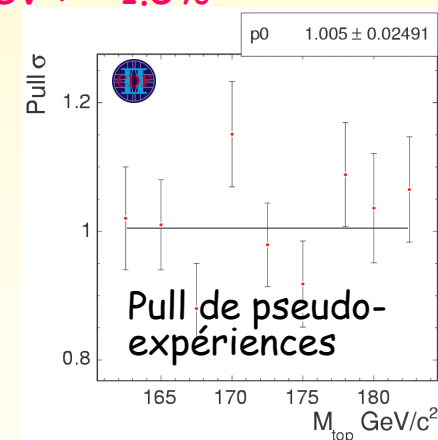
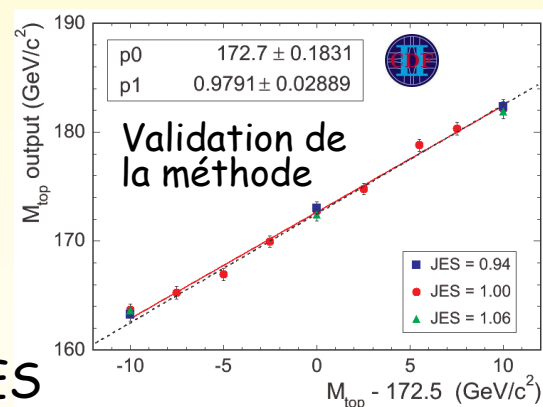
940 pb<sup>-1</sup>:

$$M_{\top} = 170.9 \pm 2.2 \text{ (stat+JES)} \pm 1.4 \text{ (sys)} \text{ GeV}$$

2.6 GeV : ~ 1.5%

- **systematiques dominantes:**

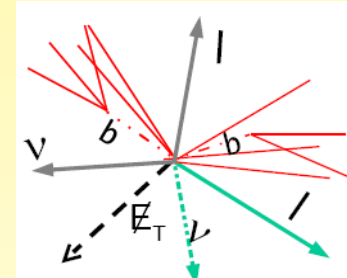
- JES résiduel
- fragmentation des b / b-JES
- ISR/FSR



# Mesure de la masse du top dans le canal dilepton

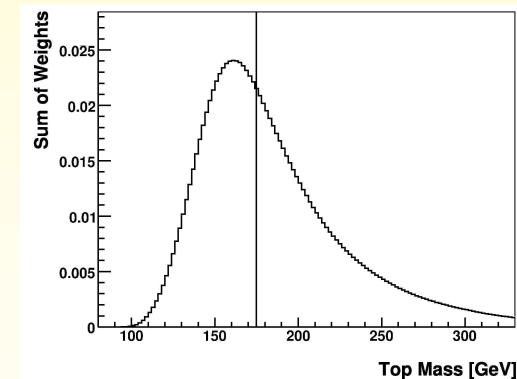
- Méthode de la matrice:

- même technique que pour le canal lepton+jets
- moins de contraintes ( $2 \nu$ )  $\Rightarrow$  une intégration en plus
- pas de calibration in-situ de JES possible ( $2 W \rightarrow \ell \nu$ )
- bdf:  $WW$ +jets,  $Z$ +jets



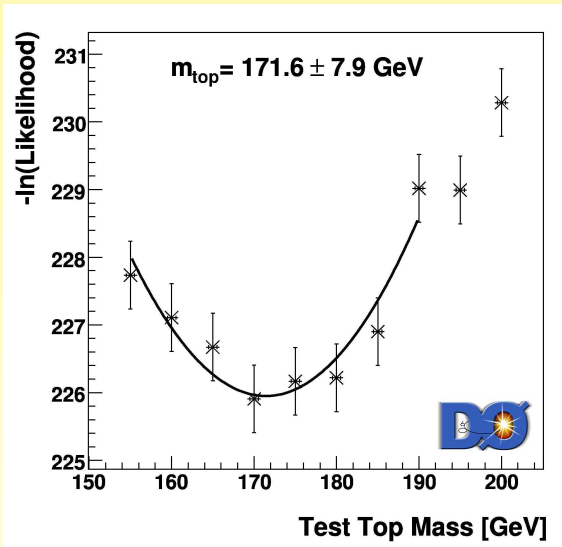
- Méthode neutrino weighting: (*template avec  $E_T$* )

- $E_T$  mesurée comparée avec  $E_T$  calculée pour une hypothèse de  $M_{\text{top}}$  et  $2 \eta_\nu$
- cette comparaison donne un poids par événement en intégrant sur  $\eta_\nu$
- les poids des événements de données sont fittés à des *templates* MC signal + bdf pour déterminer  $M_{\text{top}}$



# Résultat du canal dilepton

$e\mu$   
Neutrino weighting



835 pb<sup>-1</sup>:

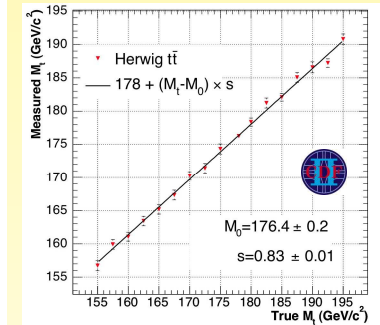
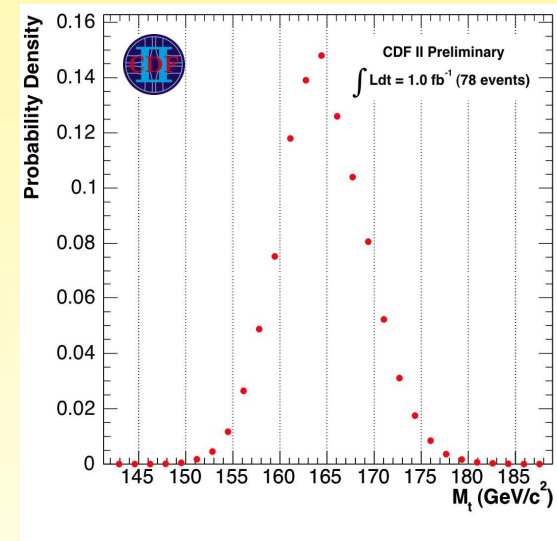
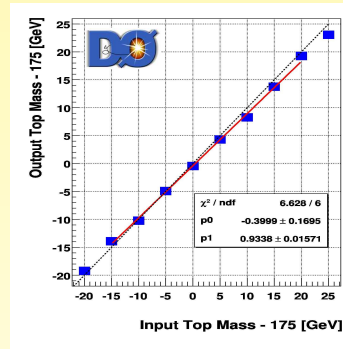
$$M_{\top} = 171.6 \pm 7.9 \text{ (stat)} {}^{+5.1}_{-4.0} \text{ (sys)} \text{ GeV}$$

• systématiques dominantes:

→ JES

→ modélisation du bdf

dilepton  
élément de matrice

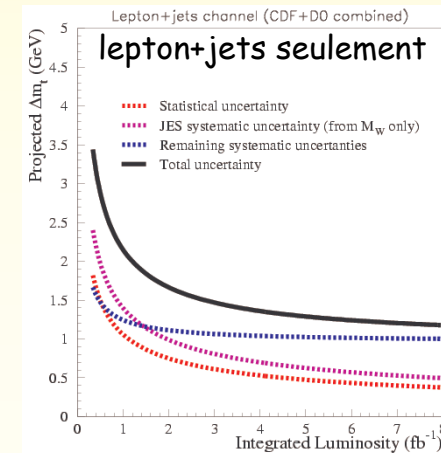
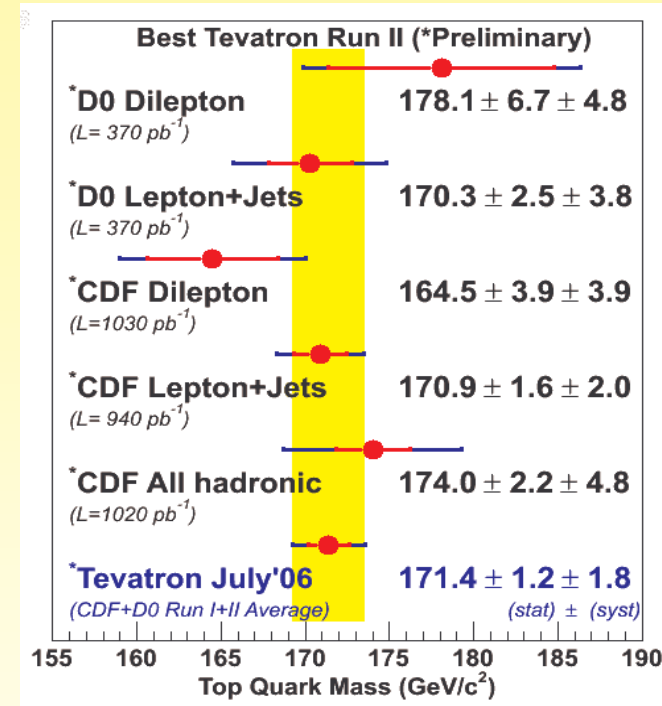
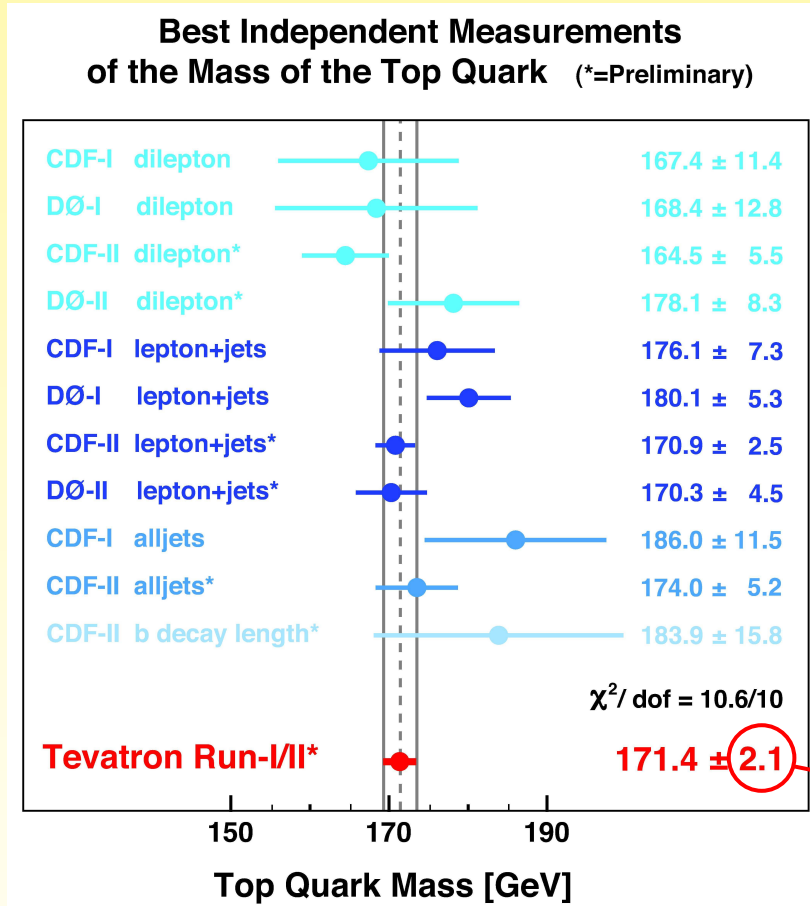


1.0 fb<sup>-1</sup>:

$$M_{\top} = 164.5 \pm 3.9 \text{ (stat)} \pm 3.9 \text{ (sys)} \text{ GeV}$$

5.5 GeV : ~ 3.3%

# Résumé des mesures actuelles de masse du top



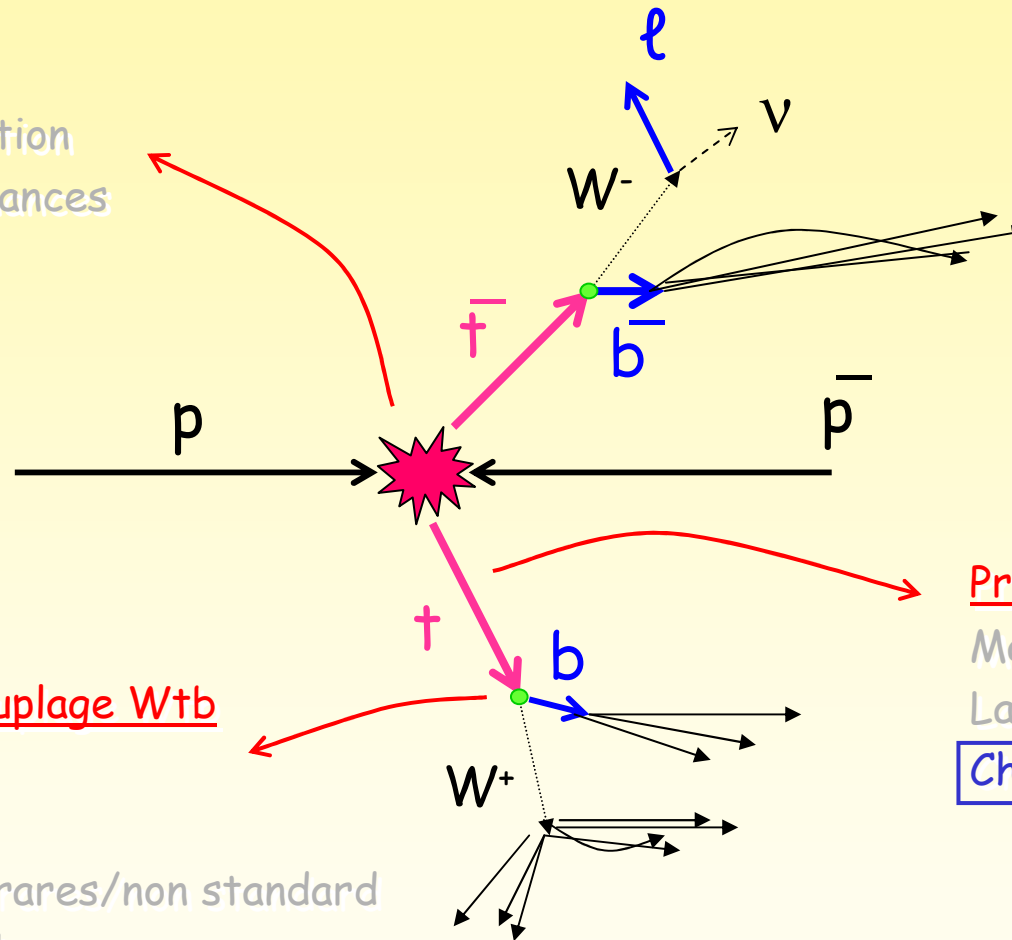
- perspectives:

- $\Delta M_{\text{top}} < 1.5 \text{ GeV}$  à la fin du RunII
- challenging pour le LHC

# Autres propriétés du quark top

## Production

Taux de production  
Nouvelles résonances



## Propriétés du couplage $Wtb$

**Hélicité du  $W$**

$V_{tb}$   
Désintégrations rares/non standard  
Couplage anormal

## Propriétés du top

Masse  
Largeur/Temps de vie  
**Charge**, Spin

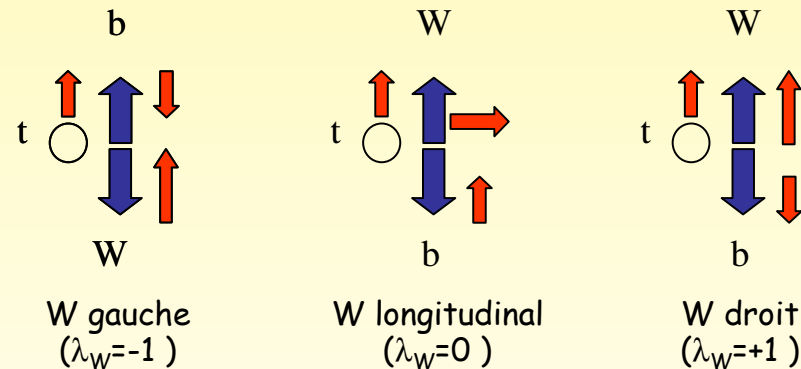
# Mesure de l'hélicité du W

- structure V-A du couplage faible dans le MS:

- pas de W avec une hélicité  $h_W=+1$  dans la désintégration du top

- désintégration du top: test de structure V-A de l'interaction faible à une échelle proche de l'échelle de brisure EW

- test présence de V+A dans le couplage Wtb

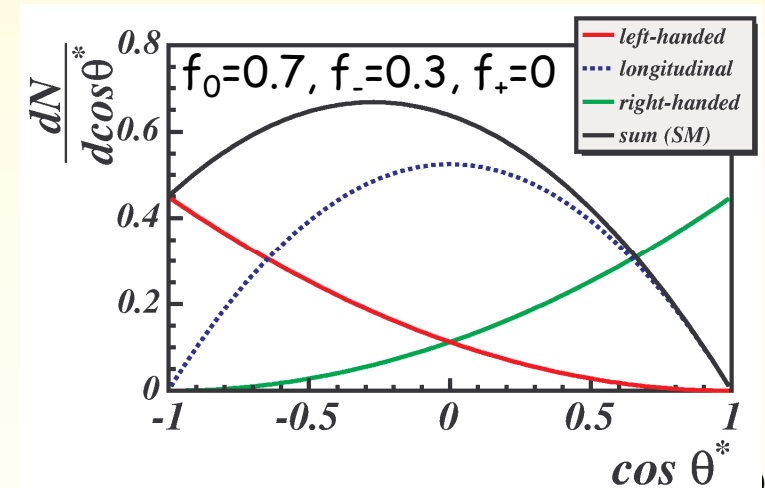


- choix de l'observable reliée à  $h_W$

- $P_t$  des leptons

- dans le ref du cdm du W, angle entre la direction du lepton et la direction de vol du W dans le ref cdm du top de vol :  $\cos\theta^*$

- masse invariante lepton-b:  $M_{lb}^2$



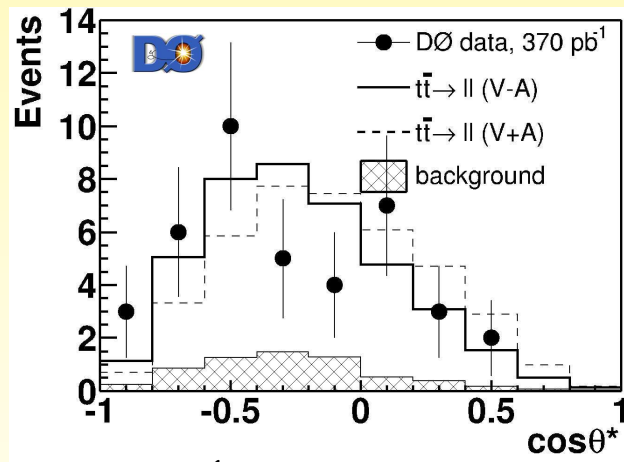
# Résultat des mesures d'hélicité du W

- canal lepton+jets (+ dilepton):

- avec et sans b-tagging

- fit cinématique pour reconstruire le top et le W

- $f_0 = 0.7$  fixé pour extraire  $f_+$



370 pb<sup>-1</sup>:

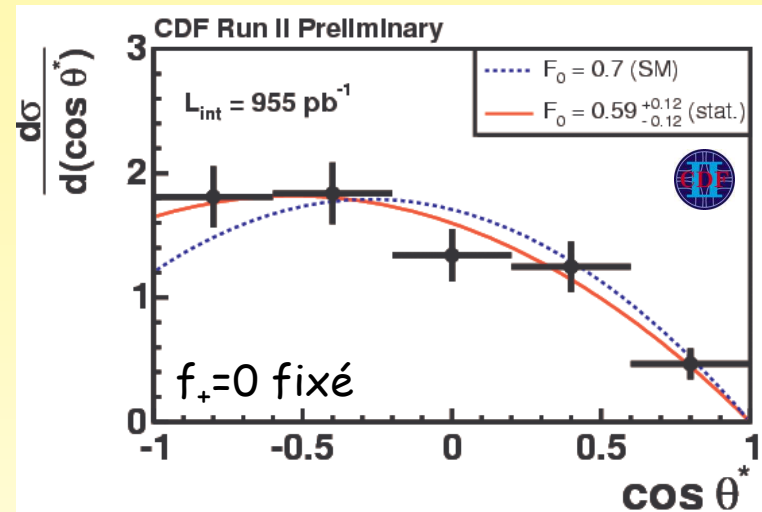
$$f_+ = 0.056 \pm 0.08 \text{ (stat)} \pm 0.057 \text{ (sys)}$$

$$f_+ < 0.23 \text{ à } 95\% \text{ CL}$$

- systématiques dominantes:

- JES

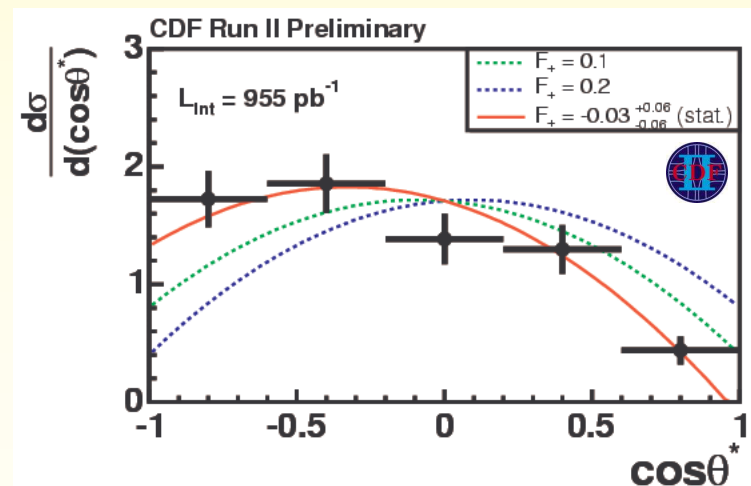
- masse du top



955 pb<sup>-1</sup>:

$$f_+ = -0.03 \pm 0.06 \text{ (stat)}^{+0.04}_{-0.03} \text{ (sys)}$$

$$f_+ < 0.10 \text{ à } 95\% \text{ CL}$$



# Mesure de la charge du quark top

- Est-ce que le quark top découvert au Tevatron est le top du MS ?

→  $Q_t = +2/3$  ?

→ modèle avec une 4<sup>ème</sup> famille: doublet  $(Q_1, Q_4)$  de charge  $(-1/3, -4/3)$

Le quark découvert à Fermilab pourrait être  $Q_4$   
(et le quark du MS reste à découvrir)

- Mesure de la charge du top

→ canal lepton+jets avec 2 b-tag

→ bdf principal:  $Wb\bar{b}$ , single top

→ association du bon quark b au lepton par un fit de la masse du top

→ charge du top:

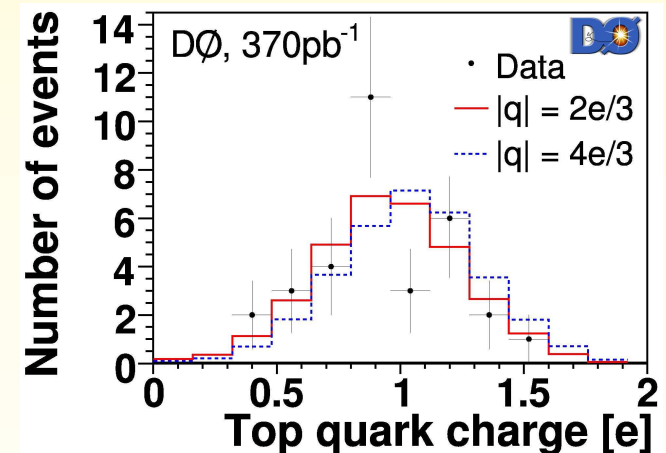
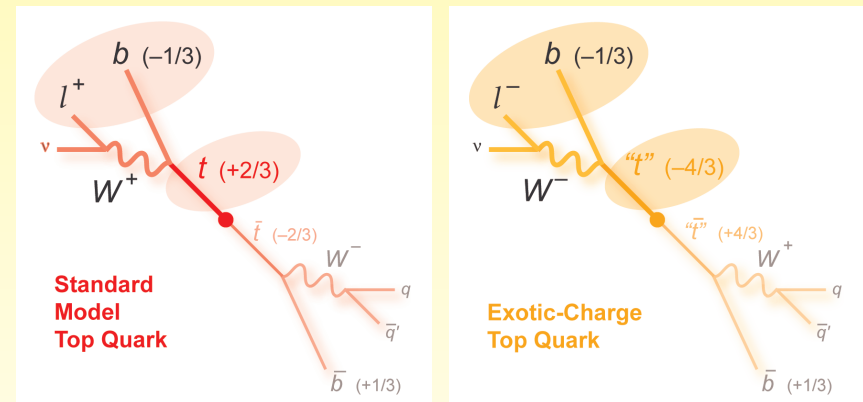
$$Q_1 = |q_\ell + q_{b\ell}|, \quad Q_2 = |-q_\ell + q_{bh}|,$$

→ estimation de la charge du jet:  $q_{jet} = \frac{\sum_i q_i \cdot p_{Ti}^{0.6}}{\sum_i p_{Ti}^{0.6}}$

- Résultats:

→  $|q|=4/3$  exclu à 92% CL

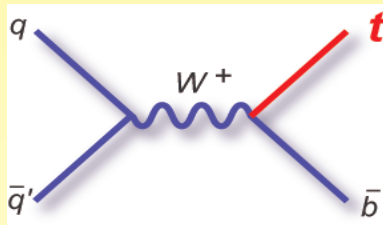
→ fraction de quark exotique:  $f < 0.8$  à 90% CL



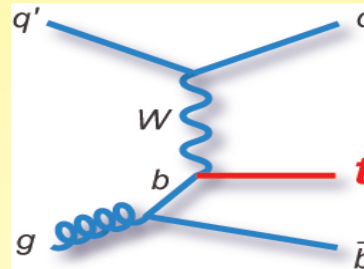


# La production électrofaible

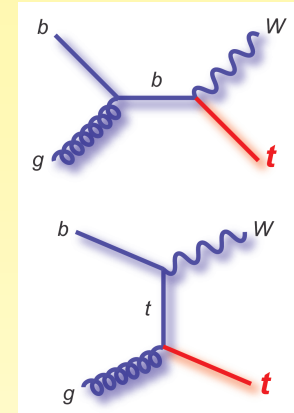
- Mode de production



voie s:  $\sigma = 0.88 \pm 8\%$  pb  
 état final:  $\ell\nu b\bar{b}$



voie t:  $\sigma = 1.98 \pm 12\%$  pb  
 état final:  $\ell\nu bq$



$Wt$ :  $\sigma = 0.09 \pm 26\%$  pb

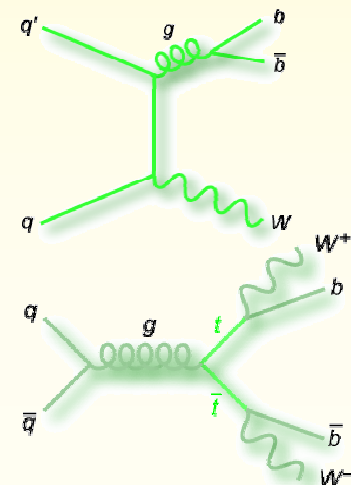
→ recherche dans les désintégrations leptoniques du W venant du top

- Intérêt de la mesure

- mesure directe de  $V_{tb}$  ( $\sigma \propto |V_{tb}|^2$ )
- sensible à des processus non standard ( $W'$ , FCNC, V+A)
- bdf important pour la recherche de Higgs

- Difficultés

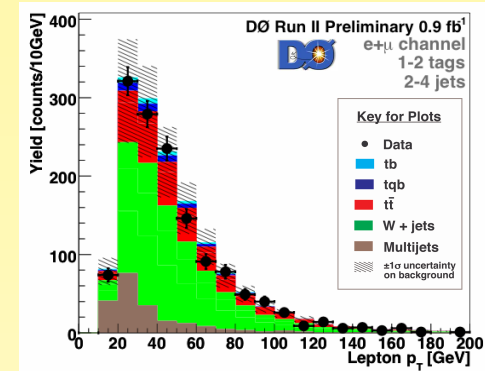
- faible section efficace, fort bdf:  $W+b\bar{b}$ ,  $t\bar{t}$ , QCD
- technique d'analyse multivariable
- recherche au Tevatron depuis 2001 ...



# Sélection

- Signature

- trigger : lepton + jet
- un seul lepton isolé de haut Pt (15-18 GeV)
- énergie transverse manquante ( $E_T > 15$  GeV)
- de 2 à 4 jets ( $p_T > 25, 20$  ou  $15$  GeV)
- au moins un jet étiqueté b



CDF Run II Preliminary, L=955 pb<sup>-1</sup>  
Event yield in W+2jets



Source	Event Yields in 0.9 fb <sup>-1</sup> Data Electron+muon, 1tag+2tags combined		
	2 jets	3 jets	4 jets
<i>tb</i>	16 ± 3	8 ± 2	2 ± 1
<i>tqb</i>	20 ± 4	12 ± 3	4 ± 1
<i>t<math>\bar{t}</math> → ll</i>	39 ± 9	32 ± 7	11 ± 3
<i>t<math>\bar{t}</math> → l+jets</i>	20 ± 5	103 ± 25	143 ± 33
<i>W+b<math>\bar{b}</math></i>	261 ± 55	120 ± 24	35 ± 7
<i>W+c<math>\bar{c}</math></i>	151 ± 31	85 ± 17	23 ± 5
<i>W+jj</i>	119 ± 25	43 ± 9	12 ± 2
Multijets	95 ± 19	77 ± 15	29 ± 6
Total background	686 ± 131	460 ± 75	253 ± 42
Data	697	455	246

signal attendu: ~ 40 evts

A\*Br = 2 - 3 %

<i>s</i> -channel	15.4 ± 2.2
<i>t</i> -channel	22.4 ± 3.6
<i>tt</i>	58.4 ± 13.5
Diboson	13.7 ± 1.9
Z + jets	11.9 ± 4.4
<i>Wbb</i>	170.9 ± 50.7
<i>Wcc</i>	63.5 ± 19.9
<i>Wc</i>	68.6 ± 19.0
Non-W	26.2 ± 15.9
Mistags	136.1 ± 19.7
Single top	37.8 ± 5.9
Total background	549.3 ± 95.2
Total prediction	587.1 ± 96.6
Observed	644

# Analyses multivariables

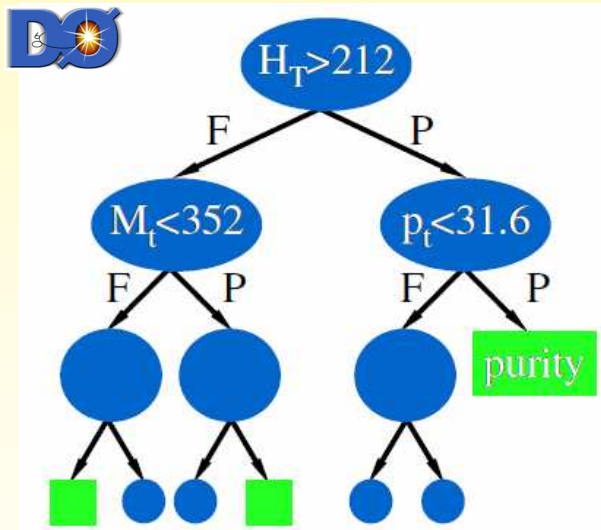
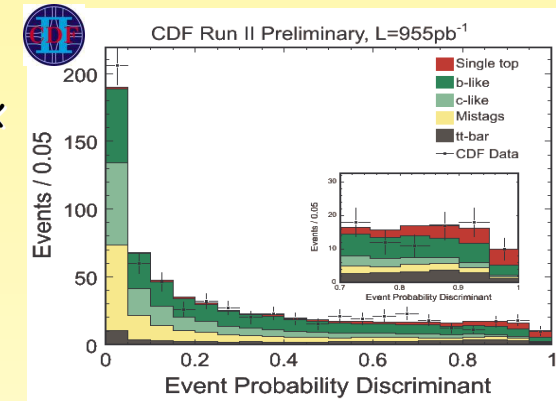
- Méthode

- Likelihood
- *Boosted Decision trees*
- Élément de matrice
- Réseau de neurones

- Decision tree avec 49 variables

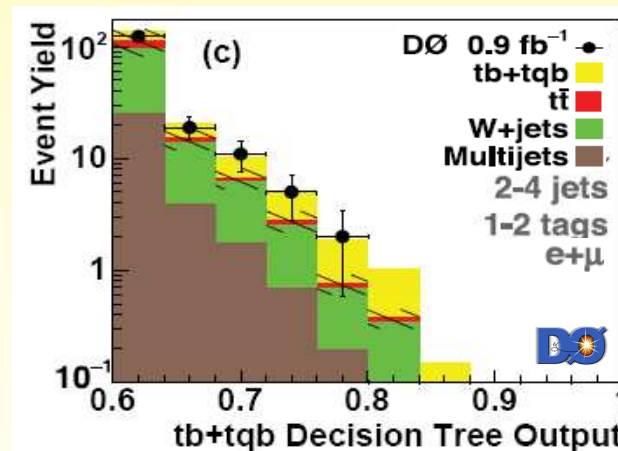
- cinématique des objets, de l'evt, corrélations angulaires

CDF matrix element



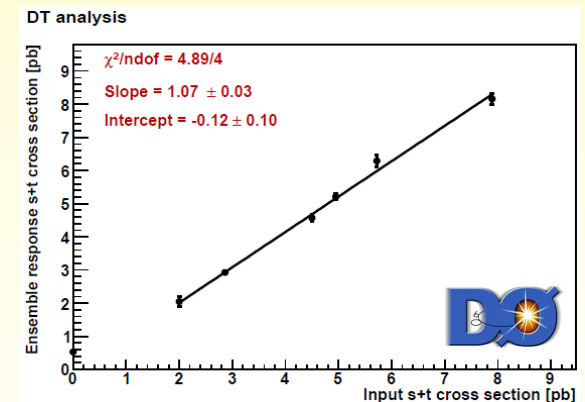
A chaque nœud, choix de la meilleure variable et de la valeur de la coupure

Entraînement sur 1/3 du MC



Binned likelihood sur la sortie du DT pour mesurer la section efficace


Cross check: ensemble testing



# Sensibilité/Résultats


## • Attendue:


→ Probabilité pour que le bdf fluctue pour donner au moins  $\sigma_{SM} = 2.9 \text{ pb}$

	Sensibilité attendue
Decision tree	2.1 $\sigma$
Matrix element	1.8 $\sigma$
NN	1.3 $\sigma$

	Sensibilité attendue
Matrix element	2.5 $\sigma$
Likelihood	2.0 $\sigma$

## • Résultats:

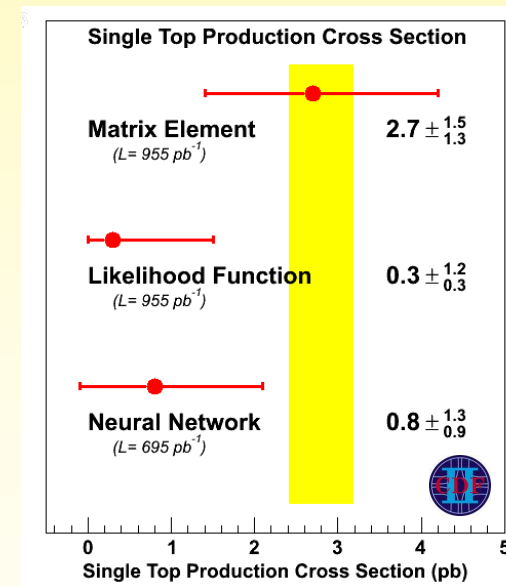
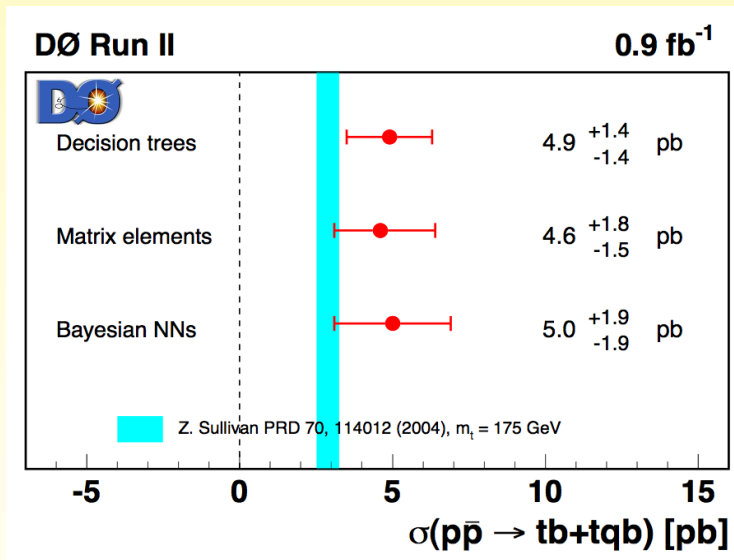
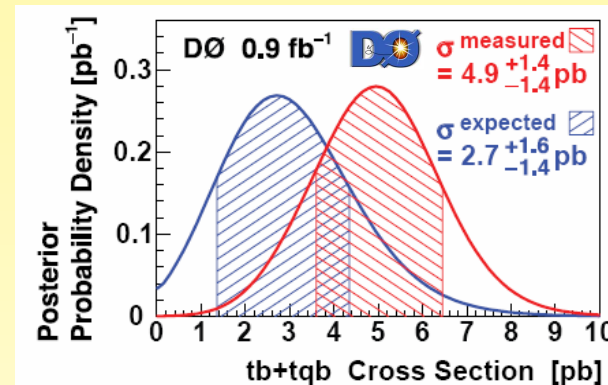
	Mesure (voie s + t)	Signification
Decision tree	$4.9 \pm 1.4 \text{ pb}$	3.4 $\sigma$
Matrix element	$4.6^{+1.8}_{-1.5} \text{ pb}$	2.9 $\sigma$
NN	$5.0 \pm 1.9 \text{ pb}$	2.4 $\sigma$

	Mesure (voie s + t)	Signification
Matrix element	$2.7^{+1.5}_{-1.3} \text{ pb}$	2.3 $\sigma$
Likelihood	$0.3^{+1.2}_{-0.3} \text{ pb}$	
NN	$0.8^{+1.3}_{-0.9} \text{ pb}$	

# Résultats de la recherche de *single top*

Première indication à  $3\sigma$  de la production de top électrofaible  
(hep-ex/0612052)

Probabilité pour que  $\sigma_{SM} = 2.9$  pb donne la valeur mesurée: 11%

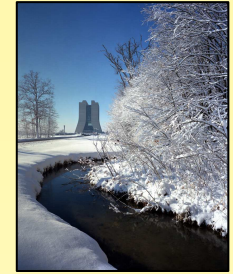


• Première mesure directe de  $V_{tb}$  :

$$\rightarrow |V_{tb}| = 1.3 \pm 0.2$$

$$\rightarrow 0.68 < |V_{tb}| \leq 1 \quad (0 \leq |V_{tb}| \leq 1)$$

# Conclusion



- Avec le Run II du Tevatron, la physique du quark top est entrée dans le domaine de la physique de précision:

→ la statistique n'est plus le facteur limitant pour les mesures de section efficace et de masse (canal lepton+jets)

- Le Modèle Standard est testé dans le secteur du top

- première indication de la présence de single top
- masse du top (contraintes indirectes sur le Higgs)
- propriétés et couplages du quark top
- limites sur des processus non standard



- Le Run IIb vient juste de commencer

→ on attend au moins 5x plus de luminosité à la fin du Run II



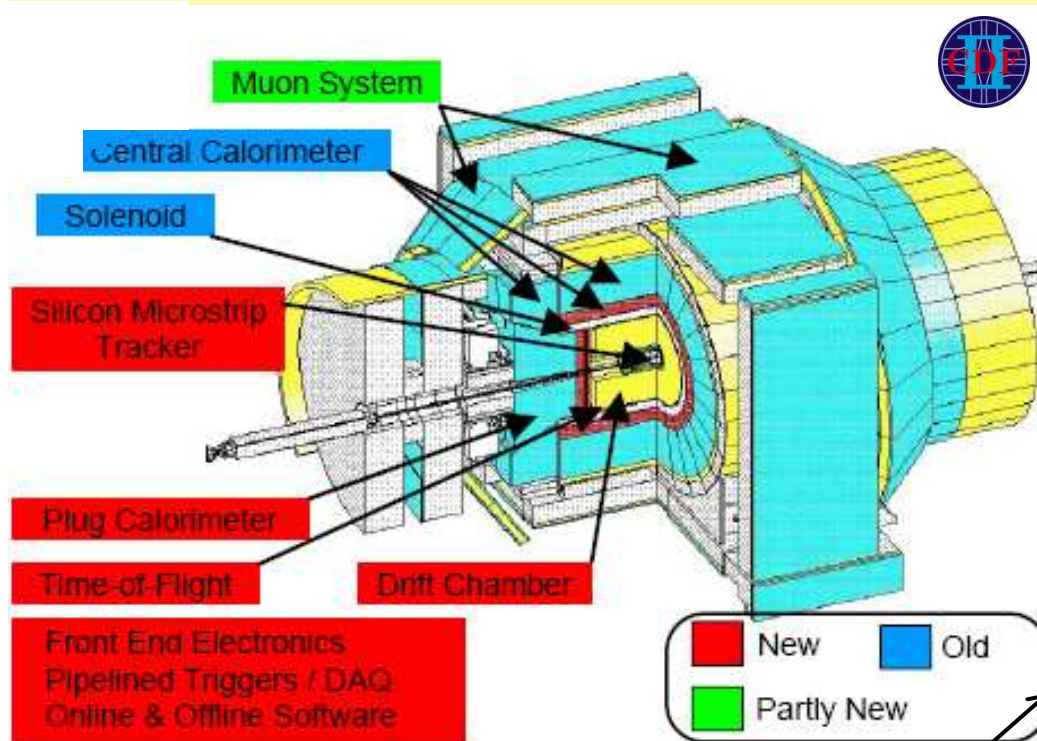
→ la précision atteinte à la fin du Run II du Tevatron sera souvent compétitive avec les futures mesures au LHC

→ des surprises ?



# Backup Slides

# Les détecteurs CDF et D0 Run II



Solénoïde (2T),  
détecteur interne  
(Si, fibres),  
détecteurs de  
pieds de gerbe

scintillateurs

Chambres à dérive  
vers l'avant

blindage

