

# Pourquoi étudier le quark top ?

C'est *a priori* un constituant **élémentaire** → il nous intéresse !

Sa **masse très élevée** le singularise :

- découvert récemment → propriétés mal mesurées. Le top étudié est-il le top du Modèle Standard ?
- nature (élémentaire ?) et rôle de ce quark dans le **mécanisme de génération des masses** ? Nouvelle fenêtre sur la compréhension de la hiérarchie des masses.
- $\Gamma_{\text{top}} \gg \Lambda_{\text{QCD}}$  → le top **se désintègre avant de s'hadroniser**. Accès simplifié à ses propriétés (masse, spin) sans approximations de QCD non perturbative et sans modification par interaction dans l'état lié hadronique.
- permet de tester la physique à une **échelle d'énergie** plus élevée que les mesures de précision habituelles.

charm  
(1974)

• up

• down

• strange  
(1964)

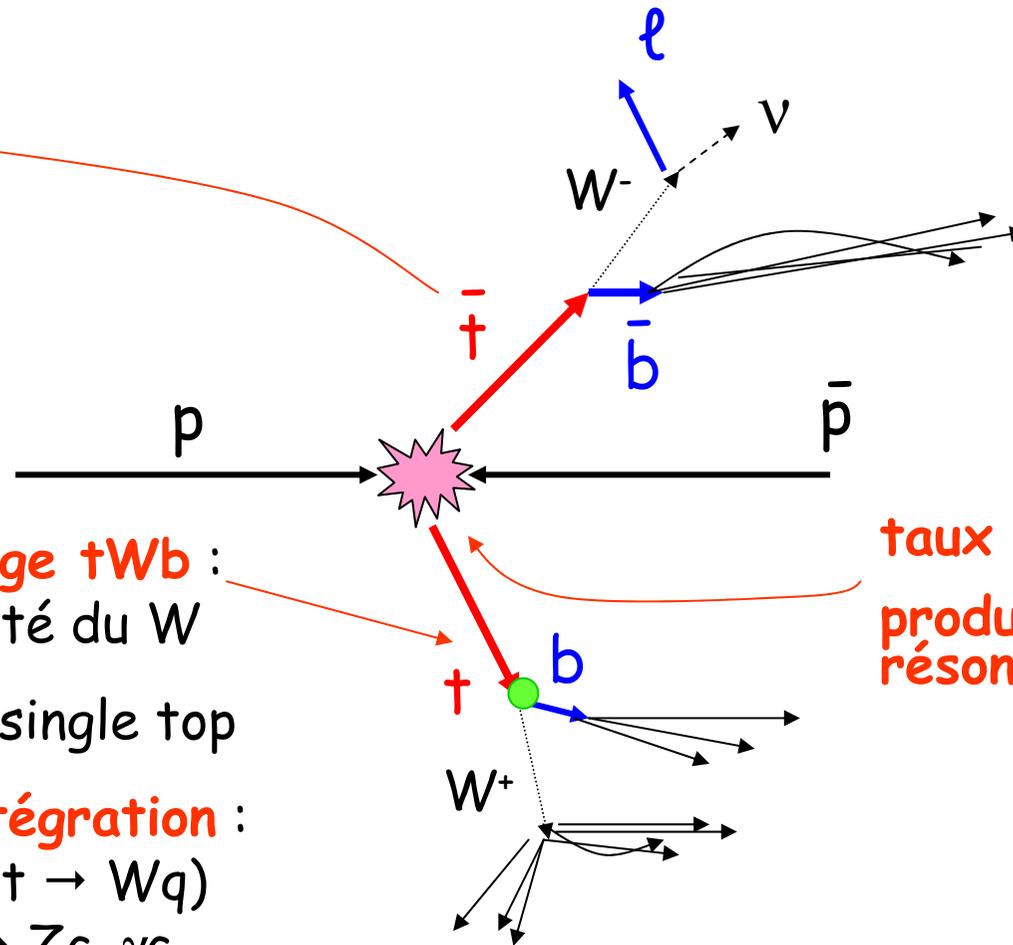
top (1995)

bottom  
(1977)

(masses  $\propto$  rayons)<sup>1</sup>

# Caractériser le quark top

charge  
spin  
masse



nature du couplage  $tWb$  :  
mesure de l'hélicité du  $W$

amplitude  $|V_{tb}|$  : single top

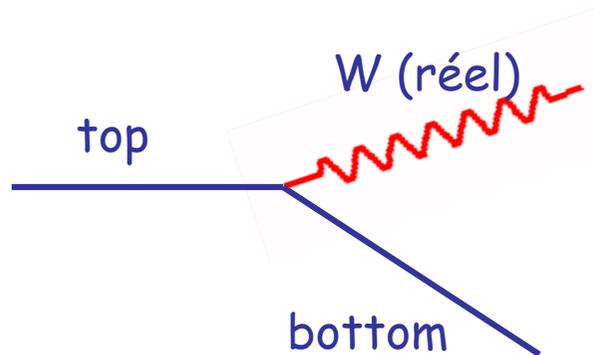
canaux de désintégration :  
 $Br(t \rightarrow Wb) / Br(t \rightarrow Wq)$   
canaux rares  $t \rightarrow Zc, \gamma$   
susy  $t \rightarrow H^+ b$

taux de production  $\sigma_{t\bar{t}}$   
production de  
résonance ?

# Mesure des propriétés du quark top à DØ-France

- Etude du couplage  $tWb$  par la mesure de l'hélicité du boson  $W$  dans la désintégration des paires de top :
  - thèse de Vincent Siccardi (+ IRB + Denis Gelé)  
soutenance 2007  
 $\approx 1 \text{ fb}^{-1}$  data p17  
canal  $\ell + \text{jets}$  avec b-tagging
  - thèse de Marion Arthaud (+ Marc Besançon + Fred. Deliot + Slava Shary) : section efficace puis  $\epsilon\epsilon$  masse ou hélicité ??  
soutenance 2008  
canal dilepton
- Mesure de la masse : nécessiterait du manpower.

# Nature du couplage tWb



$$\frac{-ig}{\sqrt{2}} |V_{tb}| \gamma^\mu \frac{1 - \gamma_5}{2}$$

Interaction faible : **structure de type V-A**. Introduite **artificiellement** pour décrire ce qui est observé expérimentalement.

→ doit être testé à toutes les échelles.

(pour l'instant n'a jamais été remis en cause, même le top a l'air très standard.)

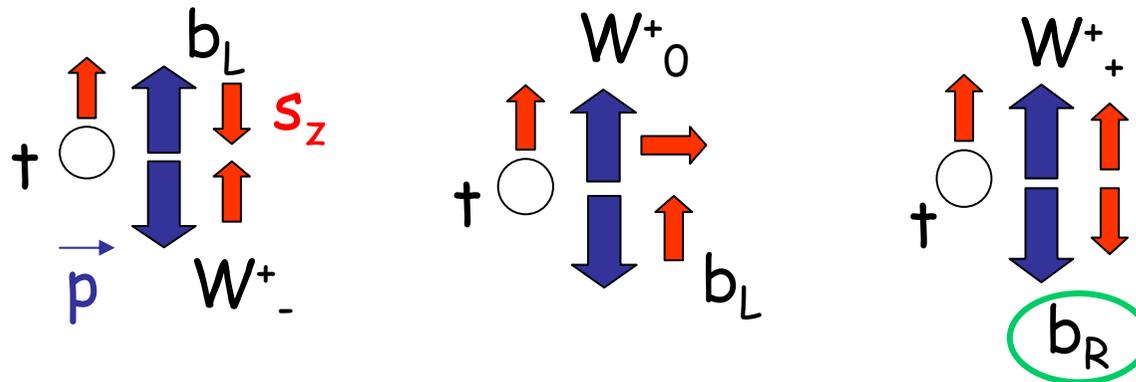
De manière générale : **O<sub>eweak</sub> = Combi. Linéaire.(S, P, V, A, T)**

# Hélicité du W

Interaction V-A → le boson W couple des particules de chiralité gauche.

Limite relativiste : **chiralité** → **hélicité (observable !)** pour  $m/p \rightarrow 0$

Désintégration  $t \rightarrow W b$  :  $m_b \ll E_b$  et  $b_L \rightarrow b_-$



Dans le cadre du M.S. :  $W_+$  (hélicité droite) supprimé par facteur  $m_b^2/m_t^2$  dans la désintégration  $t \rightarrow W^+ b$  et on a les fractions d'hélicité du W suivantes (à 3 % près) :

$$F_- \approx \frac{2 M_W^2}{m_t^2 + 2 M_W^2} \approx 0.30$$

$$F_0 \approx \frac{m_t^2}{m_t^2 + 2 M_W^2} \approx 0.70$$

$$F_+ \approx 0$$

# Hélicité du W (suite)

En pratique :

- soit on mesure  $F_+$  et on teste une contribution de type  $V+A$ , qui diminue  $F_-$  au profit de  $F_+$  et laisse  $F_0$  inchangé : en comparant les données à un M.C. =  $\alpha (V-A) + \beta (V+A)$ , en négligeant les interférences entre les deux contributions.

Permet de tester de nombreuses théories B.S.M. : mécanismes de brisure dynamique EWS (topcolor), 4<sup>ième</sup> génération avec interaction  $V+A$  mélangée au top (top *seesaw*), nature composite du top...

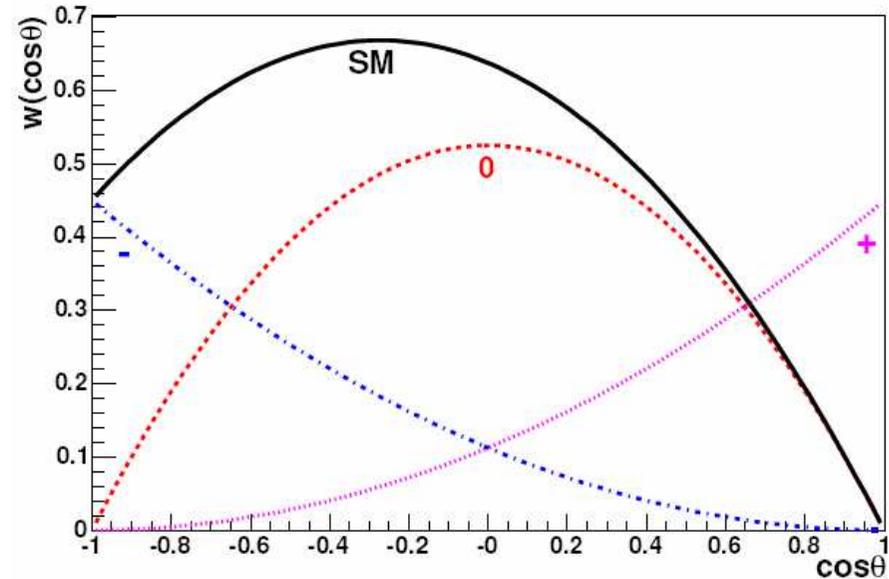
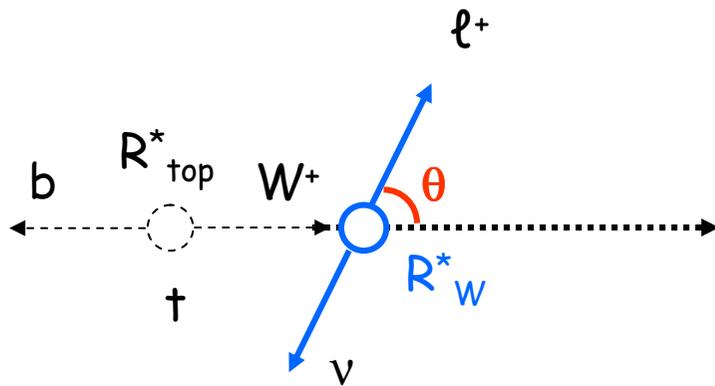
Il existe déjà une **contrainte expérimentale indirecte limitant la contribution  $V+A$  au vertex  $tWb$  à quelques %** : processus  $b \rightarrow s \gamma$  à **CLEO en 1993**. Résultat faisant intervenir beaucoup de corrections QCD et des hypothèses théoriques (échelle de la physique B.S.M.).

- soit on mesure  $F_0$  sans présupposer la physique B.S.M. et on fixe  $F_+$  à 0.

# Hélicité du W (suite)

Distribution angulaire (top non polarisé) :

$$w(\cos \theta) = \frac{3}{8} (1 + \cos \theta)^2 F_+ + \frac{3}{8} (1 - \cos \theta)^2 F_- + \frac{3}{4} \sin^2 \theta F_0$$



→ on va mesurer les fractions d'hélicité  $F_+$  et/ou  $F_0$  et/ou  $F_-$  en mesurant la distribution angulaire  $w(\cos \theta)$ .

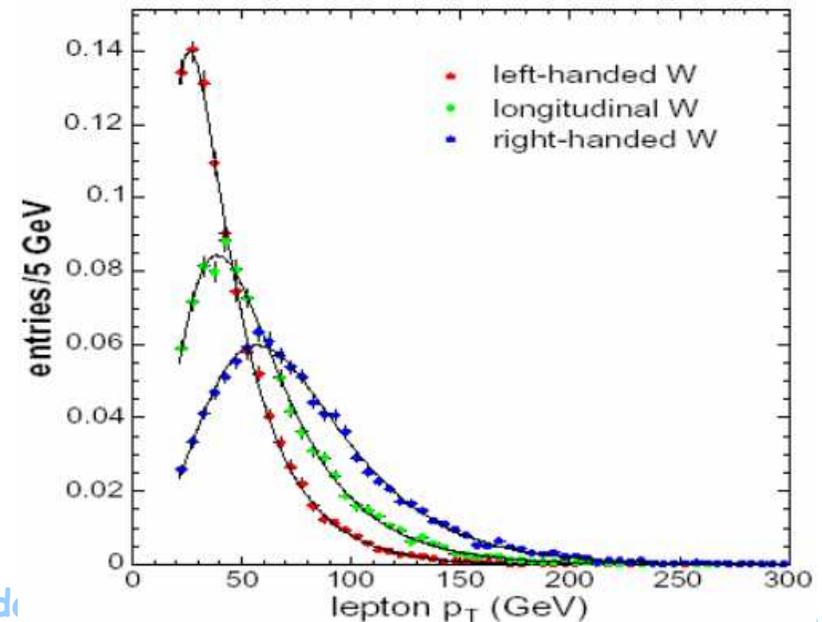
# Distribution angulaire

Mesurer cette distribution angulaire : ☹ nécessite de se placer dans **les référentiels propres du top et du W**, ce qui pose le problème du *boost* inconnu suivant  $z$ , de la résolution sur  $\cancel{E}_T$  et du (des) neutrino(s) manquants. Plusieurs méthodes :

1) approximation ( $m_b \approx 0$ ) :

$$\cos \theta \approx \frac{2 M_{tb}^2}{m_t^2 - M_W^2} - 1$$

2) différentes fractions d'hélicité du W modifient le spectre en  $p_T$  du lepton chargé :

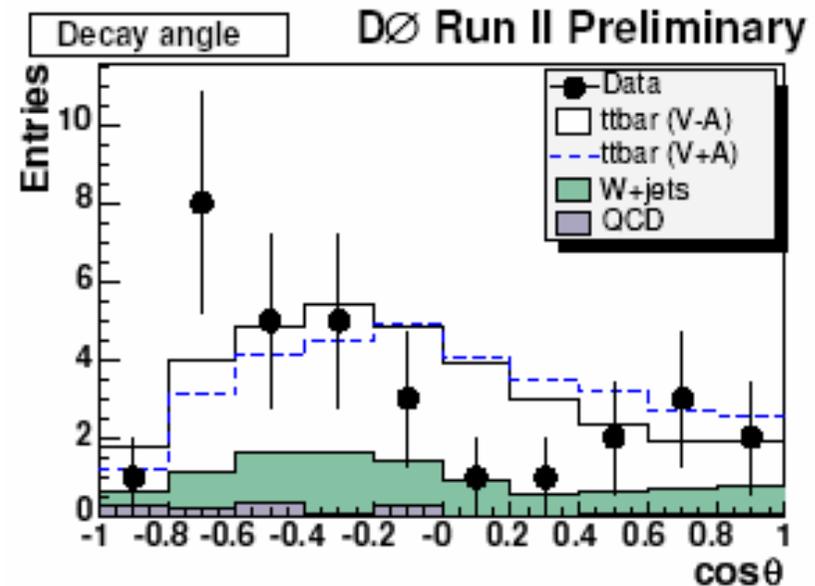


# Distribution angulaire (suite)

3) ajustement contraint de l'événement (HitFit) :

4) calcul de l'élément de matrice en fonction des observables cinématiques de l'événement :

- utilisé pour mesurer  $m_{\text{top}}$ .
- permet d'améliorer la sensibilité statistique car on **utilise les deux W de l'événement**.
- utilise **toute l'information** de l'événement et **toutes les combinaisons** du lepton et des jets en W, pondérées.
- **discrimine** efficacement le signal tt du bruit de fond.
- à vérifier pour la précision du calcul : radiations de gluons, ordre du calcul (L.O. ?), inclusion des 15 % de  $gg \rightarrow tt$  ?



# Mesure de l'hélicité : projet

- canal  $\ell + \text{jets}$
- hélicité mesurée via distribution en  $M_{\ell b}^2$  dans les données, comparée à des **templates simulés**.
- discrimination signal  $t\bar{t}$  / bruit de fond : likelihood = f(aplanarité,  $\chi^2$  de HitFit,  $H_T$ 's, centralité, sphéricité, ...)
- **combinaison des jets et du lepton en deux W** : choix d'une combinaison ou pondération des 12 combinaisons ?
- **étiquetage des jets beaux** par JLIP ou NN. Etiquetage des jets dans la simulation ?
- mesurer  **$F_0$  et/ou  $F_+$**  ? Simulation V+A ou lots séparés de W longitudinaux et de W transverses. **Likelihood binné** à partir des templates.
- dans le cas d'une limite sur la fraction : la dériver correctement...

# Mesure de l'hélicité : systématiques

Actuellement : mesure largement dominée par l'**erreur stat.**

Source dominante d'erreur systématique :  **$m_{\text{top}}$** .

Puis selon les méthodes de mesure :

- **JES** : tenir compte de l'**anti-corrélation** avec  $m_{\text{top}}$ ,
- courbe de calibration (acceptance),
- forme et/ou normalisation du bruit de fond,
- étiquetage des jets beaux : contribue très peu.

# Hélicité du W : mesures existantes

CDF Run I	$\ell + \text{jets}$ $e-\mu$ $106 \text{ pb}^{-1}$	$p_T$ lepton b-tag	$F_0 = 0.91 \pm 0.37 \text{ (stat)} \pm 0.13 \text{ (syst)}$ $F_+ < 0.28 \text{ 95 \% C.L. } (F_0 \equiv 0.70 !)$ PRL 84, 216-221 (2000)
CDF Run I	$\ell + \text{jets}$ $e-\mu$ $109 \text{ pb}^{-1}$	$M_{\ell b}^2$ b-tag	$F_+ < 0.24 \text{ 95 \% C.L. } (F_0 \equiv 0.70 !)$ $F_+ < 0.80 \text{ 95 \% C.L.}$ $F_+ = -0.21 \pm 0.42 \text{ (stat)} \pm 0.21 \text{ (syst)}$
DØ Run I	$\ell + \text{jets}$ $125 \text{ pb}^{-1}$	Matrix El.	$F_0 = 0.56 \pm 0.31 \text{ (stat)} \pm 0.07 \text{ (syst)}$ Phys.Lett. B 617, 1-10 (2005)
CDF Run II	$\ell + \text{jets}$ dilepton $162 \text{ pb}^{-1}$	$p_T$ lepton b-tag	$F_0 < 0.88 \text{ 95 \% C.L.}$ $F_0 = 0.27^{+0.35}_{-0.21} \text{ (stat + syst)}$ (consistant à $2\sigma$ avec M.S.)
CDF Run II	$\ell + \text{jets}$ $162 \text{ pb}^{-1}$	$M_{\ell b}^2$ b-tag	$F_0 > 0.25 \text{ 95 \% C.L.}$ $F_0 = 0.89 \pm 0.32 \text{ (stat)} \pm 0.17 \text{ (syst)}$ PRD 71, 031101 (2005)
DØ Run II	$\ell + \text{jets}$ $230 \text{ pb}^{-1}$	$\cos \theta$ (HitFit) topo + b-tag	$F_+ < 0.25 \text{ 95 \% C.L. } (F_0 \equiv 0.70 !)$ $F_+ = 0.00 \pm 0.13 \text{ (stat)} \pm 0.07 \text{ (syst)}$ PRD 72, 011104 (2005)

# Hélicité du W : analyses en cours

Analyses en cours dans DØ :

◆ B. Gmyrek + K. Johns + J. Levêque + E. Varnes :

- canal  $\ell + \text{jets}$

- analyse **topologique + b-tagging par JLIP** utilisé comme variable de sélection dans le likelihood discriminant signal / bdf. JLIP appliqué à la simulation...

-  $\cos\theta$  donné par HitFit.

- mesure  $F_+$  en fixant  $F_0 = 0.7$ .

- basée sur données **p14** : **370 pb<sup>-1</sup>**.

◆ B. Penning :

- canal  $\ell + \text{jets}$

- **spectre  $p_T$  du lepton**

- mesure  $F_0$

- basée sur données **p14** (thèse en cours d'écriture).

# Hélicité du W : le futur

Précision actuelle avec  $230 \text{ pb}^{-1}$  :  $F_+ < 0.25$

$162 \text{ pb}^{-1}$  :  $\Delta F_0/F_0 \approx 40 \% - 100 \%$

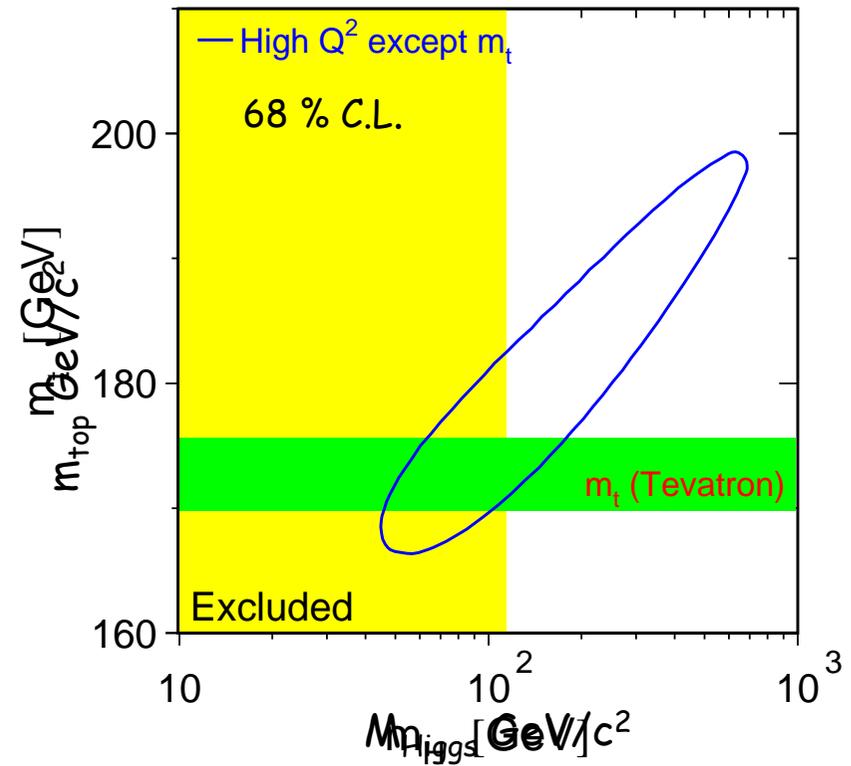
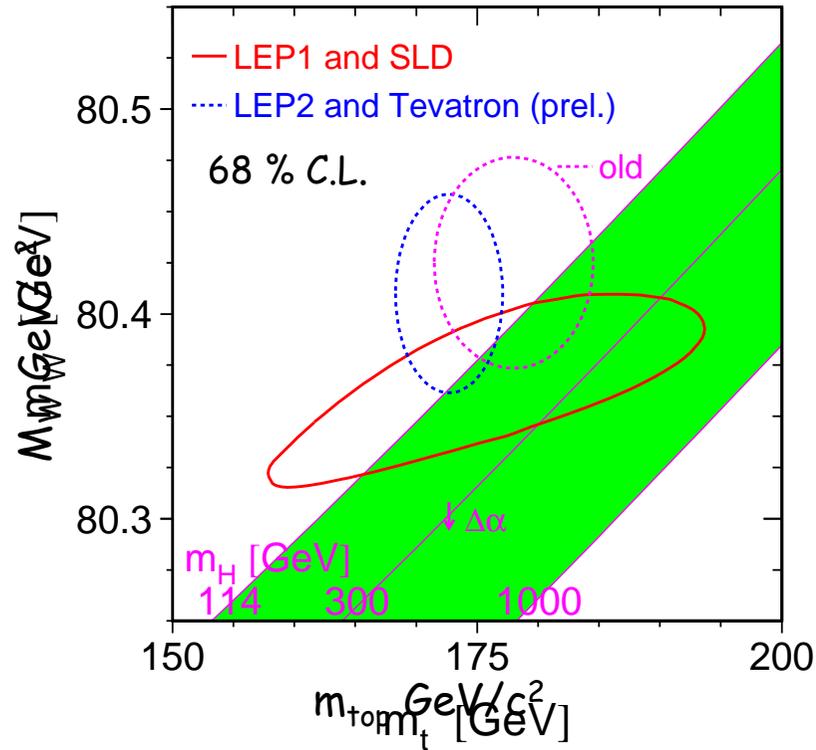
Actuellement : erreur stat  $\approx 2 \times$  erreur syst

Précision attendue avec  $2 \text{ fb}^{-1}$  :  $F_+ < 0.05$

$\Delta F_0/F_0 \approx 5 - 6 \%$

Avec  $30 \text{ fb}^{-1}$  (3 ans de LHC) :  $\Delta F_0/F_0 < 2 \%$

# Pourquoi mesurer la masse du top ?



$$m_{\text{top}} = 172.7 \pm 1.7 \text{ (stat)} \pm 2.4 \text{ (syst)} \text{ GeV}/c^2$$

DØ Run I	CDF Run I	DØ Run II $\ell + \text{jets}$	CDF Run II dilepton	CDF Run II $\ell + \text{jets}$
20 %	2 %	33 %	8 %	36 %

# Mesure de la masse / DØ Run II

## ♦ Canal $\ell$ + jets

- sélection btagging + idéogrammes

$$160 \text{ pb}^{-1} \quad m_{\text{top}} = 177.5 \pm 5.8 \text{ (stat)} \pm 7.1 \text{ (syst)} \text{ GeV}/c^2$$

- sélection topologique + templates

$$230 \text{ pb}^{-1} \quad m_{\text{top}} = 169.9 \pm 5.8 \text{ (stat)} \begin{matrix} +7.8 \\ -7.1 \end{matrix} \text{ (syst)} \text{ GeV}/c^2$$

- sélection btagging + templates

$$230 \text{ pb}^{-1} \quad m_{\text{top}} = 170.6 \pm 4.2 \text{ (stat)} \pm 6.0 \text{ (syst)} \text{ GeV}/c^2$$

- **méthode de l'élément de matrice** → **fit combiné  $m_{\text{top}}$  + JES**

$$320 \text{ pb}^{-1} \quad m_{\text{top}} = 169.5 \pm 4.4 \text{ (stat + JES)} \begin{matrix} +1.7 \\ -1.6 \end{matrix} \text{ (syst)} \text{ GeV}/c^2$$

# Mesure de la masse / DØ Run II (suite)

♦ Canal dilepton (CDF : 24 personnes !!)

- méthode Dalitz et Goldstein

$$230 \text{ pb}^{-1} \quad m_{\text{top}} = 155^{+14}_{-13} \text{ (stat)} \pm 7 \text{ (syst)} \text{ GeV}/c^2$$

- neutrino weighting

$$370 \text{ pb}^{-1} \quad m_{\text{top}} = 175 \pm 16 \text{ (stat)}^{+15}_{-13} \text{ (syst)} \text{ GeV}/c^2$$

♦ Source d'erreurs systématiques :

**JES domine largement.** Une partie de cette erreur est **corrélée** entre les canaux et entre CDF et DØ → défavorable quand on fait la moyenne de toutes les mesures.

# Perspectives pour $m_{\text{top}}$ au Tevatron

cf. présentation durant le Top Mass Workshop (D. Glenzinski, CDF 10/11/2005), considère 3 scénarios :

- **Lazy** = seule amélioration vient de l'augmentation de la stat.
- **Proactive** = augmentation de la stat. + **progrès sur JES** (calibration des jets légers à partir du  $W$  hadronique des mêmes événements  $\ell + \text{jets}$ ) et **modélisation du signal** (ISR, FSR, PDF, NLO). Erreurs en partie corrélées entre les canaux et les expériences (même LHC !).
- **Proactive++** = comme Proactive et on ajoute  $D\bar{0}$ -dilepton +  $D\bar{0}$ -all jets + CDF-all jets.

⇒ Il serait important de rajouter les canaux dileptons et all-jets pour comparer les canaux et possiblement améliorer la précision de 25 %.

⇒ **L'erreur totale projetée pour  $2 \text{ fb}^{-1}$  est au plus de  $2 \text{ GeV}/c^2$**  (i.e. on pourrait faire mieux !).

# Perspectives pour $m_{top}$ au Tevatron

	Lazy	Proactive	Proactive++	
1 fb <sup>-1</sup>	1.15			JES
	0.76			signal
	0.84			bruit de fd
	0.42			autres
	1.9			syst
	1.2			stat
	2.2			total
2 fb <sup>-1</sup>	1.9	1.6	1.6	total
5 fb <sup>-1</sup>	1.6	1.4	1.3	total
8 fb <sup>-1</sup>	0.98	0.85		JES
	0.63	0.40		signal
	0.79	0.53		bruit de fd
	0.46	0.48		autres
	1.5	1.2	1.2	syst
	0.5	0.5	0.4	stat
	1.6	1.3	1.3	total

On ne gagne plus !

