

# Physique de précision avec le détecteur ATLAS au LHC



**Pascal Pralavorio** (pralavor@cppm.in2p3.fr)

CPPM–Univ. de la Méditerranée (Marseille, FRANCE)



1. Introduction
2. QCD à  $\sqrt{s}=14$  TeV
3. Physique du W, Z
4. Physique du top
5. Conclusions

# Introduction (1)

Un peu d'histoire des collisions proton-proton ...

□ **1981:** Sp $\bar{p}$ S (CERN) avec  $\sqrt{s}= 546 \text{ GeV}$ ,  $0.02\text{pb}^{-1}$

**1983: Découverte des bosons W et Z**

→ 20<sup>e</sup> anniversaire: Phys.Rept.403-404 (2004), 107 ⊕ Eur.Phys.J.C34 (2004), 33

□ **1987:** Tevatron (FNAL) avec  $\sqrt{s}= 1.8 \text{ TeV}$ ,  $0.07\text{pb}^{-1}$

**1995: Découverte du quark top**

→ 10<sup>e</sup> anniversaire : <http://www.fnal.gov/pub/news05/TopTurnsTen.html>

□ **2007:** LHC (CERN) avec  $\sqrt{s}= 14 \text{ TeV}$ ,  $10\text{-}100 \text{ pb}^{-1}$  ?

**≥2007: - Découverte très rapide ? (Ex: Z'→ee)**

- Découverte rapide ? (Ex: SUSY)

- Découverte plus lente ? (Ex: Higgs léger)

} Complémentarité avec les  
mesures de précision du MS

→ “L'Histoire est la science des choses qui ne se répètent pas” (Valery)

# Introduction (2)

- LHC: collisions  $p\bar{p}$  à  $\sqrt{s}=14$  TeV à partir de 2007
- 2 phases:  $10^{33}\text{cm}^{-1}\text{s}^{-2}$  (initiale, 2008-2009),  $10^{34}\text{cm}^{-1}\text{s}^{-2}$  (finale, >2009)

## □ Grande statistique à la luminosité initiale:

- Coupures sévères pour sélectionner les evts
- Peu d'evts d'empilement

## □ Les mesures des paramètres du MS seront dominées par les erreurs systématiques

- du Monte Carlo (MC): radiations dans les états initial et final, PDF, ...
- du détecteur, du LHC

Processus du Modèle Standard (MS)	$\sigma$ (nb)	Evts / $10 \text{ fb}^{-1}$
<i>Minimum bias</i>	$10^8$	$\sim 10^{15}$
$b\bar{b}$	$5 \cdot 10^5$	$\sim 10^{12}$
$W \rightarrow e\nu$	15	$\sim 10^8$
$Z \rightarrow e^+ e^-$	1.5	$\sim 10^7$
$t\bar{t}$	0.8	$\sim 10^7$
Dibosons	0.2	$\sim 10^6$

# Introduction (3)

## □ Origine des erreurs systématiques (détecteur, LHC)

- Echelle E, p des leptons

- Echelle d'énergie des jets

→ Utilisation des tests en faisceau (1998-2004)

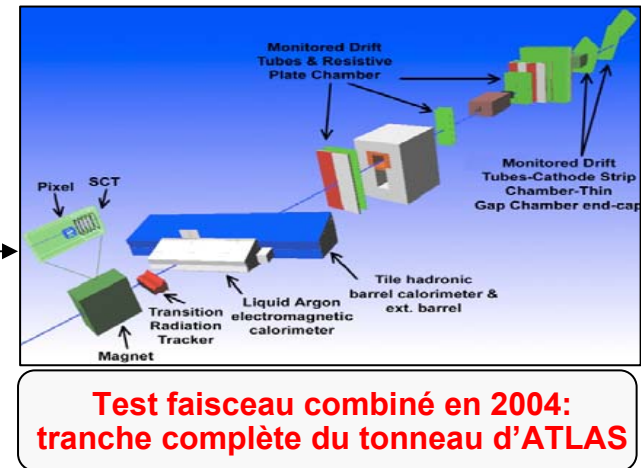
→ Amélioration avec la calibration in situ  
( $Z \rightarrow ll$ ,  $Z + \text{jets}$ ,  $W \rightarrow jj$  dans les evts  $t\bar{t}$ )

- Etiquetage des b (*b-tagging*)

→ Vérification des performances avec les données (evts  $t\bar{t}$  très purs)

- Luminosité

→ Expériences dédiées (LUCID) + utilisation des W



# Le détecteur ATLAS (1)

## ❑ Quelques chiffres

- $L \sim 44 \text{ m}$ ,  $\varnothing \sim 22 \text{ m}$
- 7000 tonnes
- 2000 personnes

## ❑ Détecteur interne

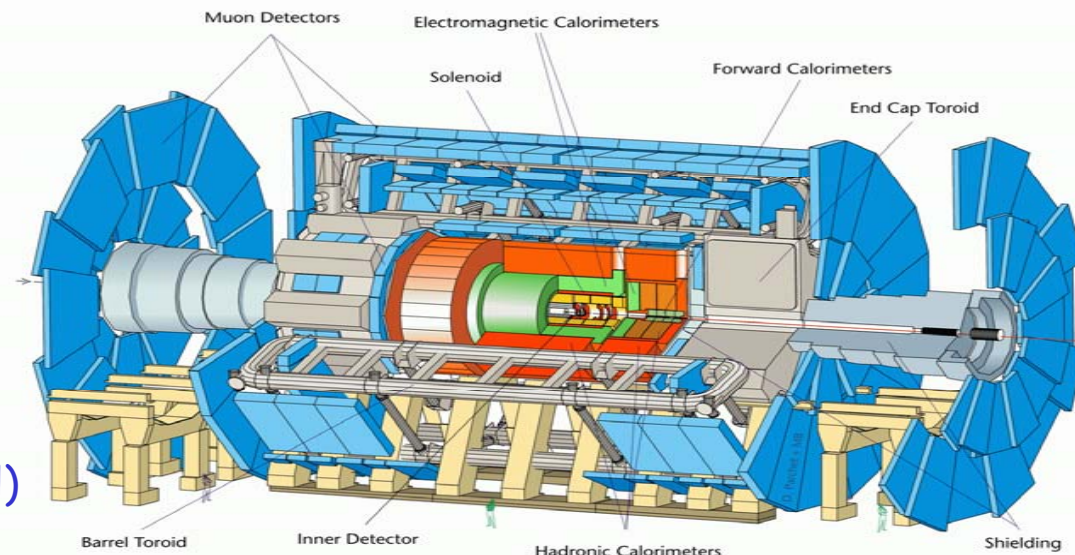
- Pixels, pistes Si et TRT
- Champs magnétique de 2T (solénoïdal)
- Couverture  $|\eta| < 2.5$

## ❑ Calorimétrie

- EM à argon liquide (LAr) jusqu'à  $|\eta| < 3.2$
- Had. (Tuiles, LAr, à l'avant) jusqu'à  $|\eta| < 4.9$

## ❑ Spectromètre à muons

- Champs magnétique de 4T (toroïdal)
- Couverture jusqu'à  $|\eta| < 2.7$



**B** Pour  $|\eta| < 2.5$  (région de précision):

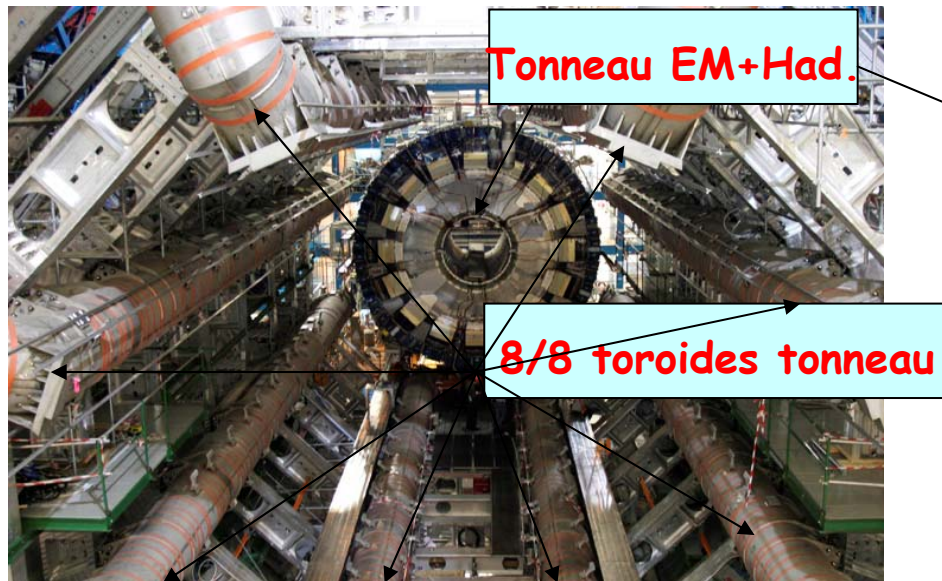
**U**  
**T**  
**S**

- Echelle E, p des leptons à  $< 0.1 \%$
- Echelle d'énergie des jets à  $1\%$
- *b-tagging*:  $\epsilon_b \approx 60\%$ ,  $r_{uds} \approx 100$ ,  $r_c \approx 10$

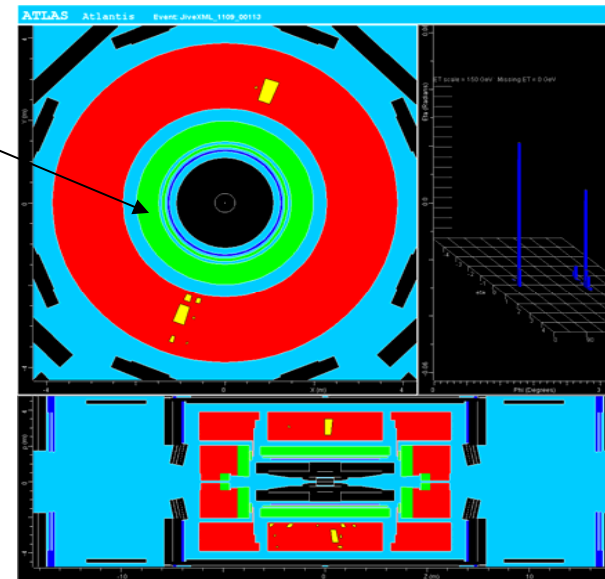
**e, jets ~Tevatron/3, b-tagging ~Tevatron**

# Le détecteur ATLAS (2)

❑ Le détecteur prend place dans la caverne ...



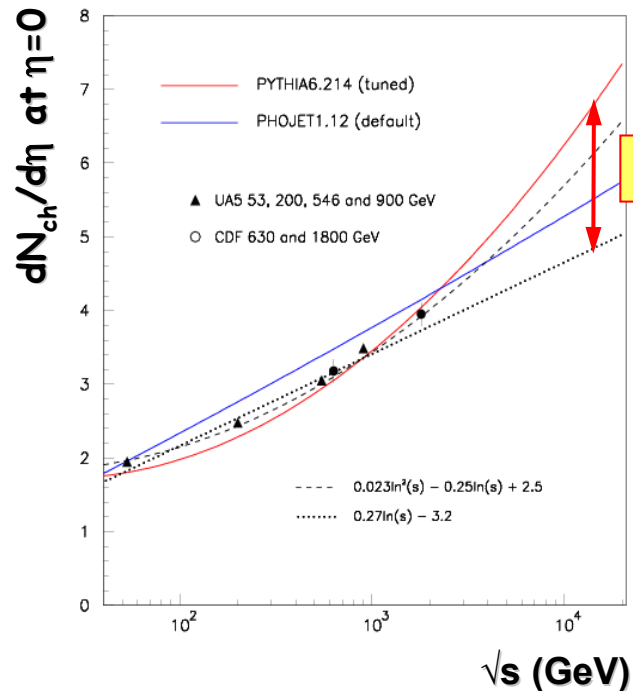
❑ ... où les premiers evts avec des muons cosmiques ont été observés



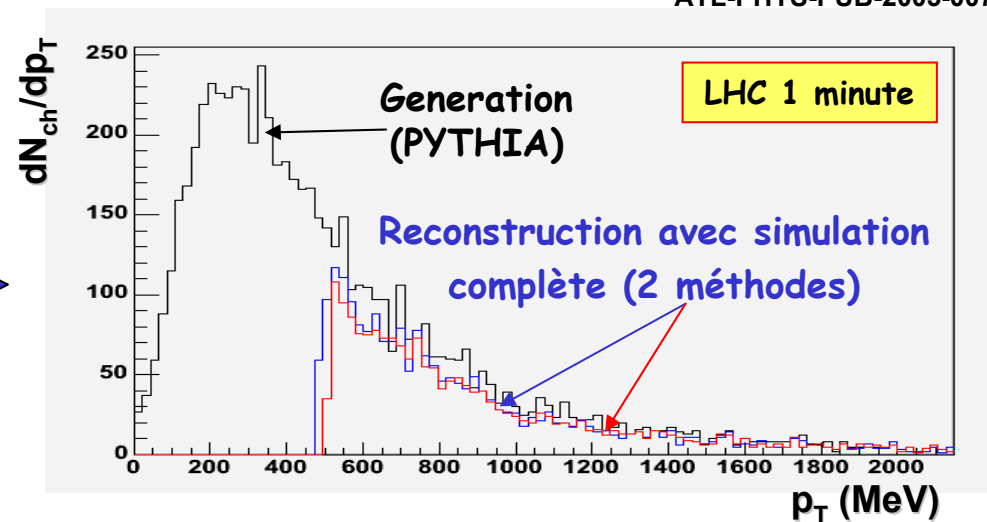
**ATLAS sera prêt pour la prise de données en 2007**

# QCD à $\sqrt{s}=14$ TeV (1)

- Comprendre les evts *minimum bias* (Ex. : Nb de traces chargées  $N_{ch}$ )



Difficile de prédire la situation au LHC

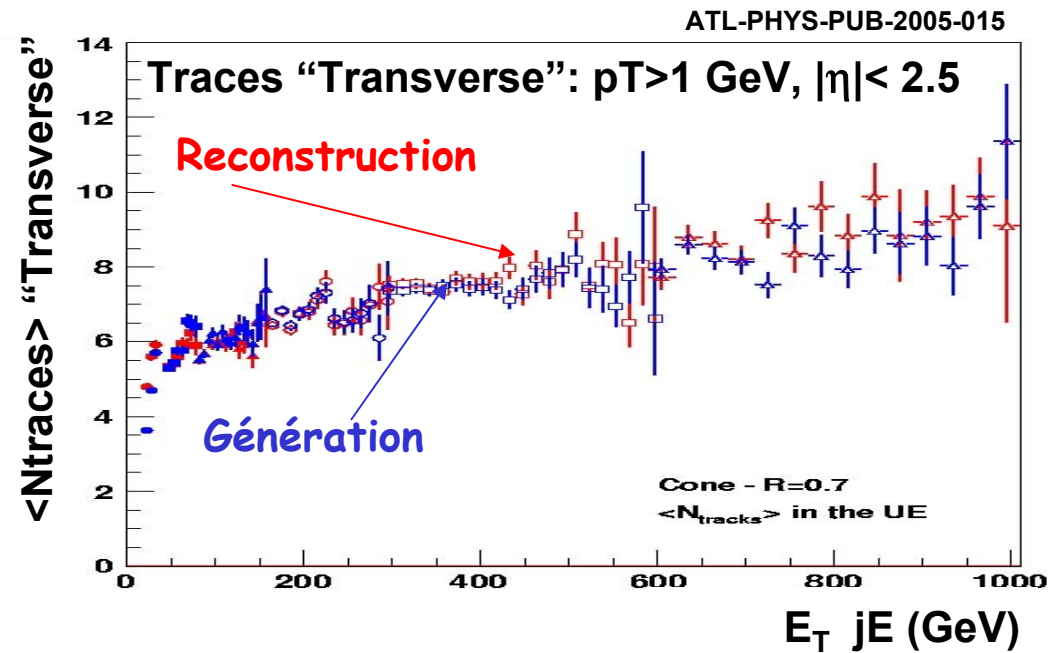
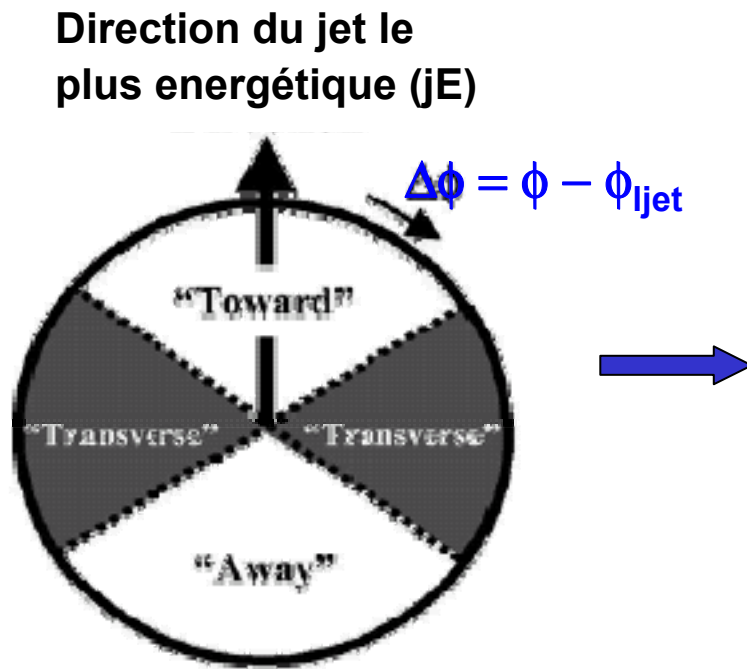


- Vérification pendant la mise en service ...
- ... limitée à  $p_T \sim 500$  MeV par  $\epsilon(\text{recons.})$

Données avec un champ solénoïdal plus faible pour atteindre  $p_T \sim 200$  MeV

# QCD à $\sqrt{s}=14$ TeV (2)

- Comprendre les evts sous jacents (région "Transverse")



- Reconstruction/Génération  $\sim 1$

Comme précédemment, difficile de prédire la situation au LHC

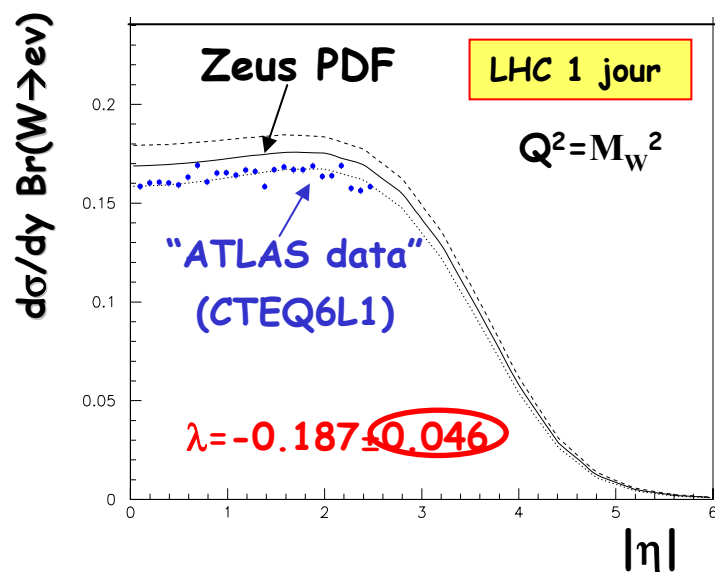
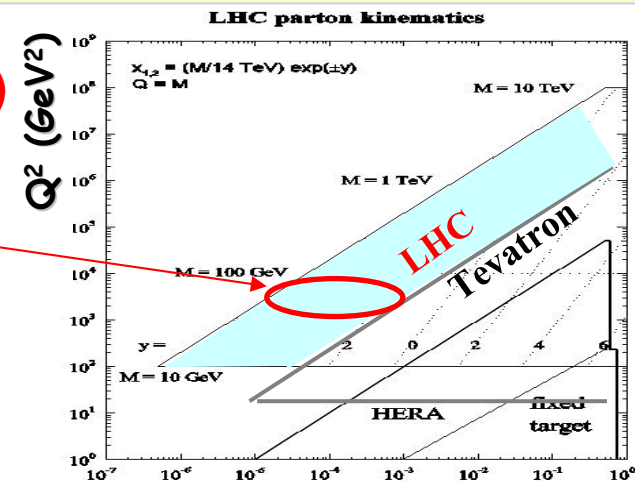
Utilisation des traces reconstruites pour comprendre les evts sous-jacents



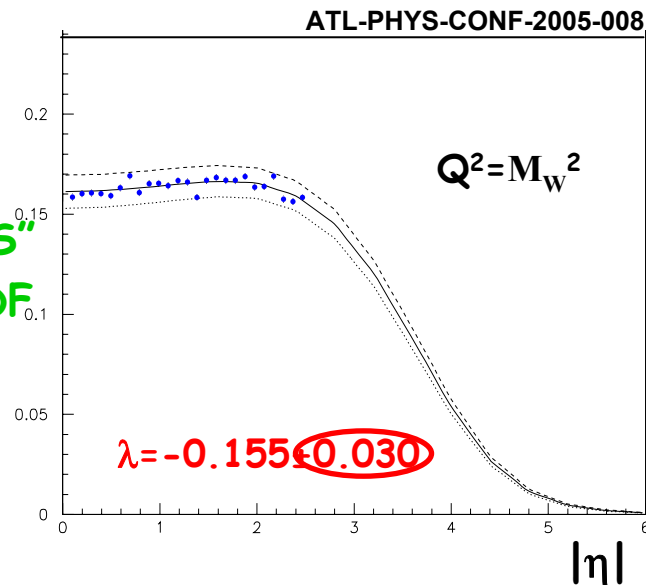
# QCD à $\sqrt{s}=14$ TeV (3)

## □ Contraindre la fonction de structure du proton (PDF)

- $W$  sonde les gluons à petit  $x$ ,  $Q^2 = M_W^2$
- Exemple: Le spectre du  $W^+(\rightarrow e^+\nu)$  est sensible au paramètre de forme du gluon  $\lambda$  ( $xg(x)=x^{-\lambda}$ )
- ➔ L'erreur sur  $\lambda$  est réduite de 40 %



Inclusion des données "ATLAS" dans les fits PDF globaux

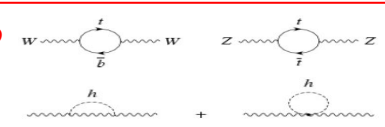


# Masse du W (1)

- $M_W$  est un paramètre fondamental du MS lié aux masses du top, du Higgs et à  $\sin\theta_W$ :

$$M_W = \sqrt{\frac{\pi\alpha_{EM}}{G_F\sqrt{2}}} \times \frac{1}{\sin\theta_W \sqrt{1-\Delta r}}$$

Corrections radiatives ~4%  
 $f(M_t^2, \ln M_H)$



- Précision actuelle sur la mesure directe de  $M_W$ :

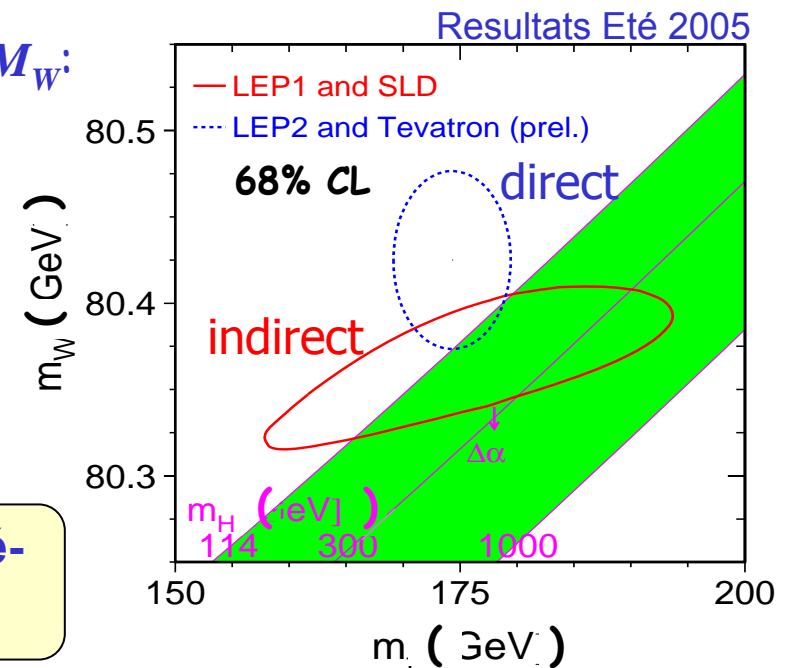
LEP2 + Tevatron  $\rightarrow \Delta M_W \sim 35 \text{ MeV}$

- Contribution égale à l'erreur sur  $M_H$  si:

$$\Delta M_W \approx 0.7 \times 10^{-2} \Delta M_t$$

$$\Delta M_t < 2 \text{ GeV} \rightarrow \Delta M_W < 15 \text{ MeV}$$

Difficile mais nécessaire pour vérifier la cohérence du MS avec une mesure directe de  $M_H$



# Masse du W (2)

## □ Méthode de mesure ( $W \rightarrow e\nu, \mu\nu$ ):

$$M_T^W = \sqrt{2 p_T^l p_T^\nu (1 - \cos \Delta\phi_{l\nu})}$$

Estimé avec le recul du W

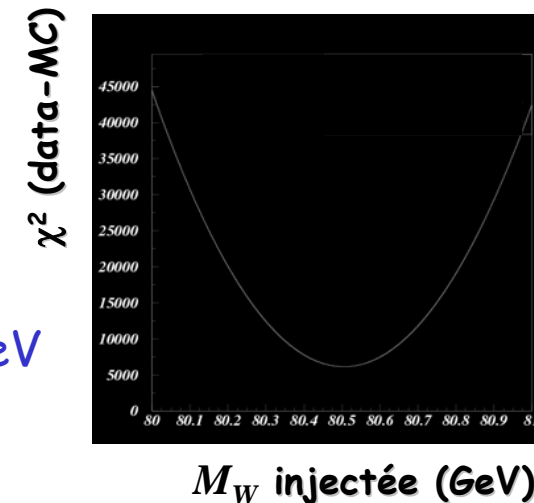
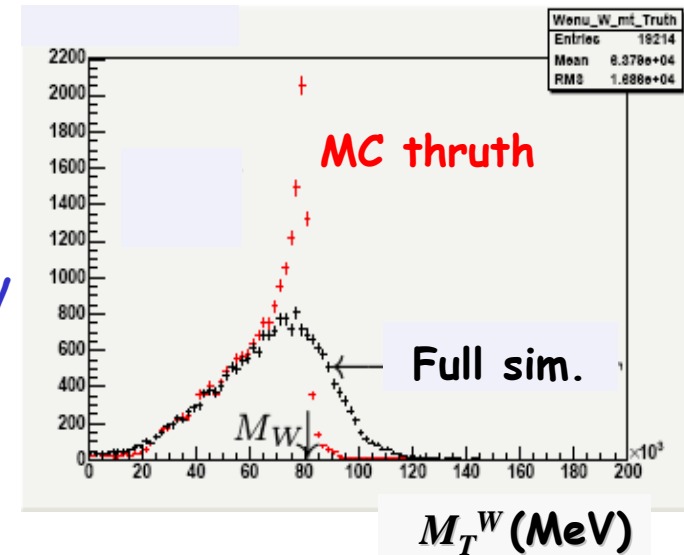
- Lepton isolé  $P_T > 25$  GeV
- $E_{T, \text{miss}} > 25$  GeV
- Pas de jet à haut  $p_T$ :  $E_T < 20$  GeV
- Recul du W  $< 20$  GeV

→ 30M evts/10 fb<sup>-1</sup>

→ Sensibilité à  $M_W$  sur la partie descendante du spectre

→ Ajuste le MC avec le Z<sup>0</sup>

→ Minimise  $\chi^2(\text{données-MC})$  où  $M_W$  varie entre [80-81] GeV par pas de 1 MeV: 2 MeV de précision statistique



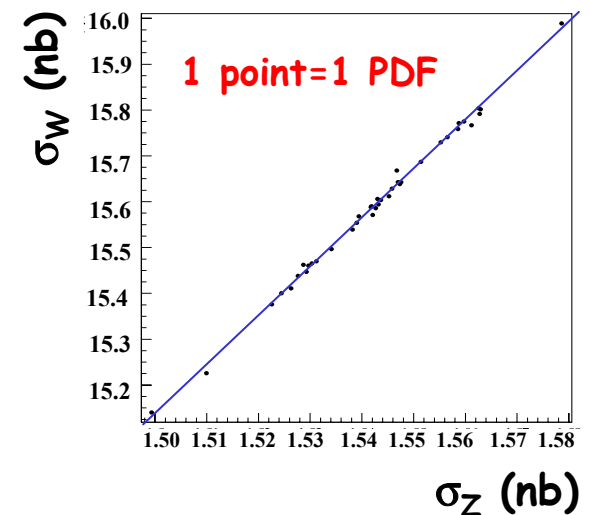
# Masse du W (3)

## Erreurs systématiques expérimentales et théoriques sur $M_W$ (MeV)

Source	CDF,run1b PRD64,052001	ATLAS 10 fb <sup>-1</sup>	Remarques
<u>Echelle E,p des leptons</u>	75	< 10*	Linéarité Calo EM 0.02%, B à 0.1%, align. 1mm, #X <sub>0</sub> du dét. interne à 1%
<u>PDF</u>	15	10*	
<u>Déc. Radiative</u>	11	< 10	Amélioration théorique
<u>Largeur du W</u>	10	7	$\Delta\Gamma_W=30$ MeV (Run II)
<u>Modèle de recul</u>	37	5*	Suit la stat. des evts Z
$p_T^W$	15	5*	$p_T^Z$ comme référence
<u>Bruit de fond</u>	5	5	
<u>Résolution E</u>	25	5*	
<u>Pile-up, UE</u>	-	??*	Mesuré dans les evts Z
<b>Stat⊕syst</b>	<b>113</b>	<b>&lt; 25</b>	<b>W→e ν</b>
<b>TOTAL</b>	<b>89</b>	<b>&lt; 20</b>	<b>W→e ν + W→μ ν</b>

\*Z réduit les syst. sur  $M_W$

Ex.: Corrélation entre les sect. eff. du Z et du W

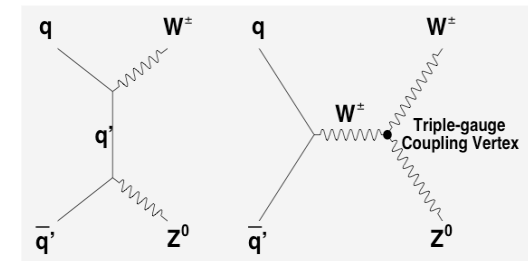


→ Dédit la cinématique du W avec celle du Z

# Triples couplages de jauge (1)

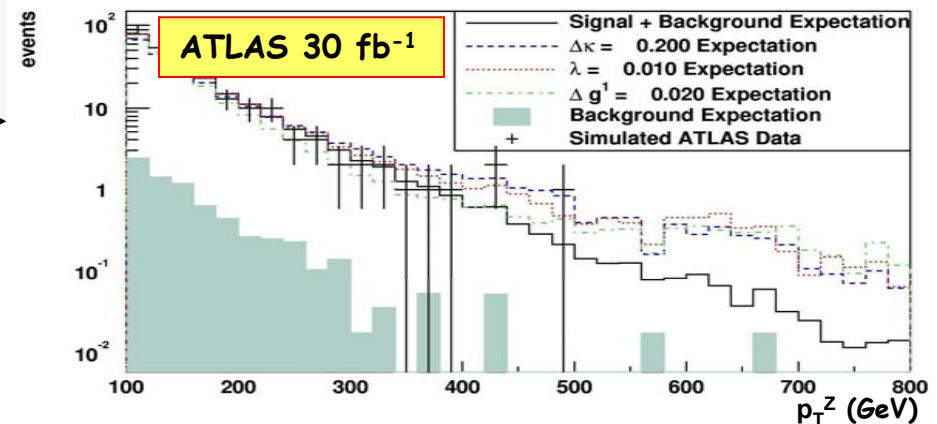
## Interaction entre 3 bosons de jauge → Triples couplage de jauge (TGC)

- Test direct de la structure non-Abelienne du MS
- TGC du MS ( $WW\gamma, WWZ$ ) découverts au LEP
- Modifient la production de paire de boson de jauge



## Meilleure observable au LHC

- $p_T^V$  ( $V=Z, \gamma$ )
- Sensibilité à la nouvelle physique via quelques evts à grand  $p_T^V$



Etudes au NLO et sélection ajustée pour les décroissances leptoniques du Z/W:  
Vraisemblance sur  $p_T^V$  → sensibilité aux TGC anormaux

# Triples couplages de jauge (2)

## □ TGC chargés dans la production WZ, W $\gamma$ avec 30 fb<sup>-1</sup>

- $\geq 1000$  WZ (W $\gamma$ ) sélectionnés avec S/B = 17 (2)
- 5 paramètres pour les contributions anormales (nulles dans le MS),  $f(\sqrt{\hat{s}})$  pour  $g_1^Z, \kappa_s$  et  $f(\hat{s})$  pour  $\lambda_s$
- Les mesures, dominées par les erreurs stat., améliorent les résultats du LEP/Tevatron par  $\sim 2-10$

	ATLAS 95% CL ( $\pm_{\text{stat}} \pm_{\text{syst}}$ )
$\Delta g_1^Z$	$\pm 0.010 \pm 0.006$
$\Delta \kappa_Z$	$\pm 0.12 \pm 0.02$
$\lambda_Z$	$\pm 0.007 \pm 0.003$
$\Delta \kappa_\gamma$	$\pm 0.07 \pm 0.01$
$\lambda_\gamma$	$\pm 0.003 \pm 0.001$

ATL-PHYS-2002-022/023

## □ TGC neutres dans la production ZZ, Z $\gamma$ avec 100 fb<sup>-1</sup>

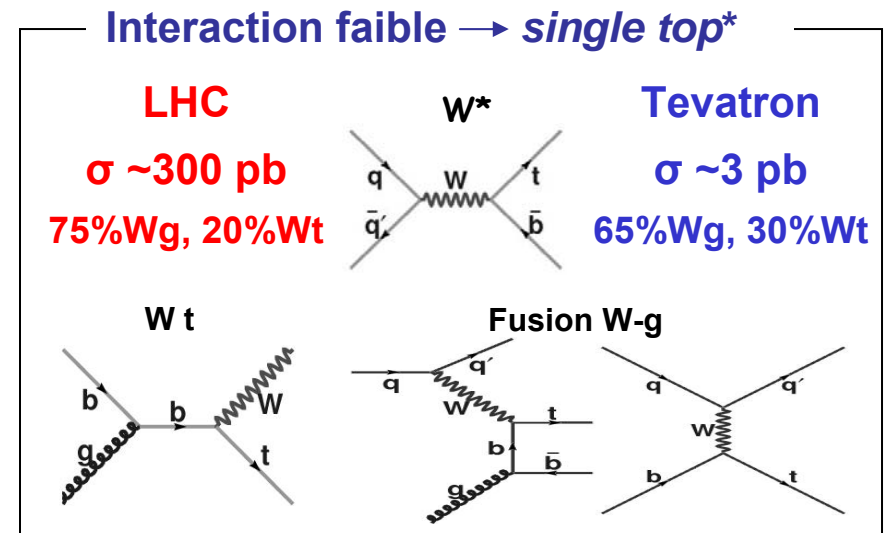
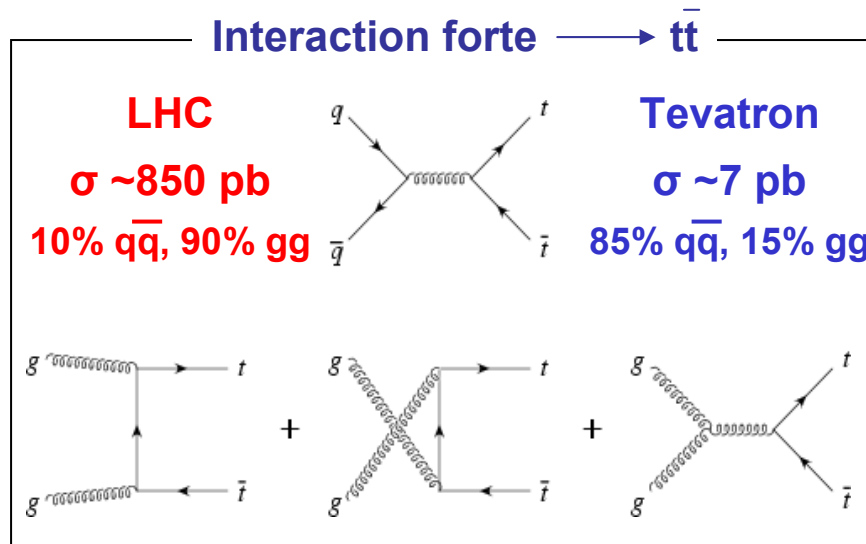
- 12 paramètres,  $f(\hat{s}^{3/2})$  ou  $f(\hat{s}^{5/2})$
- Mesures complètement dominées par les erreurs stat., améliorent les limites du LEP/Tevatron par  $\sim 10^3-10^5$

	ATLAS 95% CL stat
$f_{4,5}^{Z,\gamma}$	$7 \cdot 10^{-4}$
$h_{1,3}^{Z,\gamma}$	$3 \cdot 10^{-4}$
$h_{2,4}^{Z,\gamma}$	$7 \cdot 10^{-7}$

ATL-PHYS-2003-022/023

## □ Quadruples couplages de jauge dans la production W $\gamma\gamma$ avec 100 fb<sup>-1</sup>

# Production et décroissance du top



\* pas encore observé !

**BR ( $t \rightarrow Wb$ )  $\sim 100\%$  dans le MS et pas d'hadronisation du top**

$W \rightarrow qq, e\nu, \mu\nu$

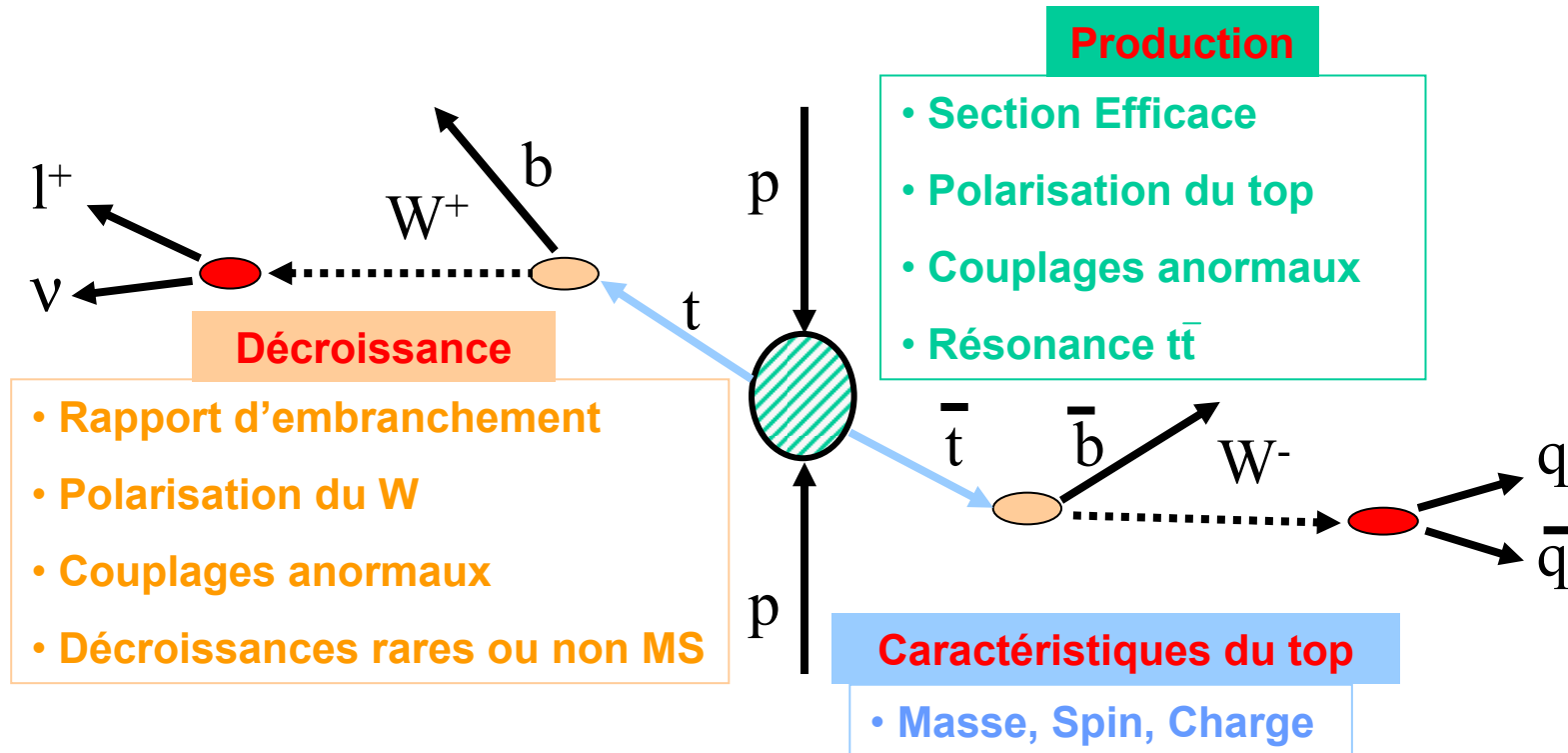
**Etats finals  $t\bar{t}$  (LHC,  $10 \text{ fb}^{-1}$ )**

- Hadronique ( **$3.7M$** ) : 6 jets
- Semileptonique ( **$2.5M$** ) :  $l + \nu + 4j$
- Dileptonique ( **$0.4M$** ) :  $2l + 2\nu + 2j$

**Etats finals *single top* (LHC,  $10 \text{ fb}^{-1}$ )**

- $W-g$  ( **$0.5M$** ) :  $l + \nu + 2j$
- $Wt$  ( **$0.2M$** ) :  $l + \nu + 3j$
- $W^*$  ( **$0.02M$** ) :  $l + \nu + 2j$

# Physique du top au LHC



- Large programme accessible **rapidement** ( $10 \text{ fb}^{-1}$ )
- Points forts: grande **statistique**, **reconstruction complète** de l'événement
- Complémentarité avec le *single top* sur la **connaissance du vertex  $tWb$**



# Sélection des événements $t\bar{t}$

- Topologie de l'evt remarquable:  $t$  et  $\bar{t}$  centraux ( $|\eta| < 2.5$ ) et dos-à-dos dans le plan transverse (**leptons isolés**)
- Energie manquante ( $p_T^{\text{miss}}$ )
- Avec les performances attendues du *b-tagging*
  - ➔ bruit de fond non  $t\bar{t}$  ( $W$ +jets,  $b\bar{b}$ , ...) négligeable

## Dileptonique

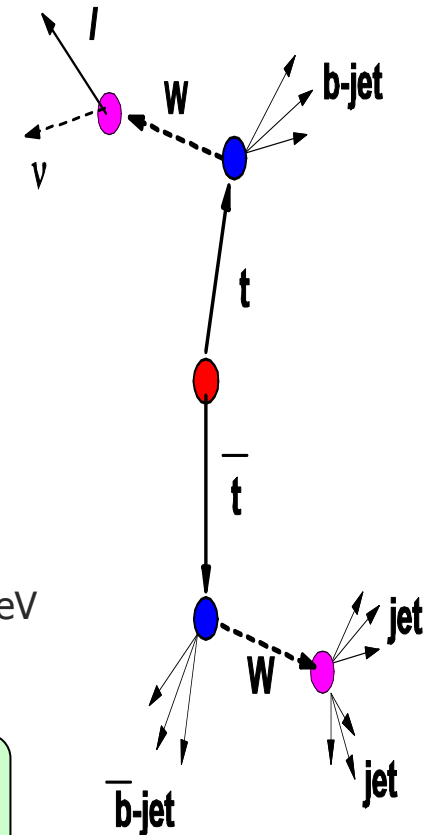
- 2 leptons isolés de charges opposés,  $P_T > 20$  GeV,  $|\eta| < 2.5$
- $p_T^{\text{miss}} > 40$  GeV
- 2 jets *b-tagged* avec  $p_T > 20$  GeV

$\epsilon(\text{sig}) \sim 6\%$ , 20k evts / 10 fb<sup>-1</sup>  
S/B ~ 6 ( $t\bar{t} \rightarrow \tau + X$ )

## Semileptonique

- 1 Lepton isolé  $P_T > 20$  GeV,  $|\eta| < 2.5$
- $p_T^{\text{miss}} > 20$  GeV
- $\geq 4$  jets (cone  $\Delta R = 0.4$ ) avec  $p_T > 40$  GeV
- 2 jets *b-tagged*

$\epsilon(\text{sig}) \sim 3\%$ , 80k evts / 10 fb<sup>-1</sup>  
S/B ~ 12 ( $t\bar{t} \rightarrow \tau + X$ )



➔ Applique cette sélection pour les études sur la masse et la polarisation

# Reconstruction des événements $t\bar{t}$

## □ Canal dileptonique (2 $\nu$ )

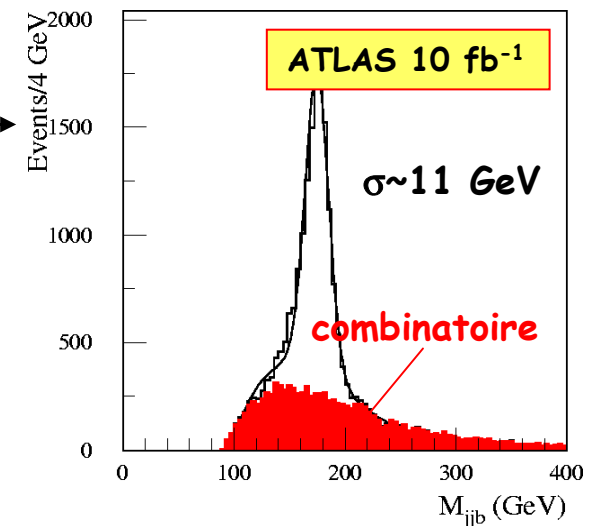
- Ensemble de 6 équations ( $\Sigma p_T=0$ ,  $M_{l\nu}=M_W$ ,  $M_{l\nu b}=M_t$ ) à 6 inconnues ( $p_\nu$  et  $p_{\bar{\nu}}$ )
- Si  $\geq 1$  solution (98%)  $\rightarrow$  probabilité de la solution avec  $p_T$  ( $t$ ,  $\bar{t}$ ,  $\nu$ ,  $\bar{\nu}$ ) connu

$\epsilon(\text{rec}) \sim 80\%$ , pureté (solution correcte)  $\sim 65\%$

## □ Canal semileptonique (1 $\nu$ )

- Utilise  $W \rightarrow jj$  pour calibrer l'énergie des jets légers
- Reconstruit  $t \rightarrow jjb$  : b choisi pour  $p_T(\text{top})$  max.  $\rightarrow$
- Utilise  $p_T^{\text{miss}}$  pour  $p_T^\nu$  et la contrainte  $M_W$  pour  $W \rightarrow l\nu$
- Reconstruit  $t \rightarrow l\nu b$  avec l'autre b:  $\sigma \sim 12 \text{ GeV}$

$\epsilon(\text{rec}) \sim 30\%$ , pureté des  $t\bar{t}$  reconstruits  $\sim 70\%$



# Masse du top (1)

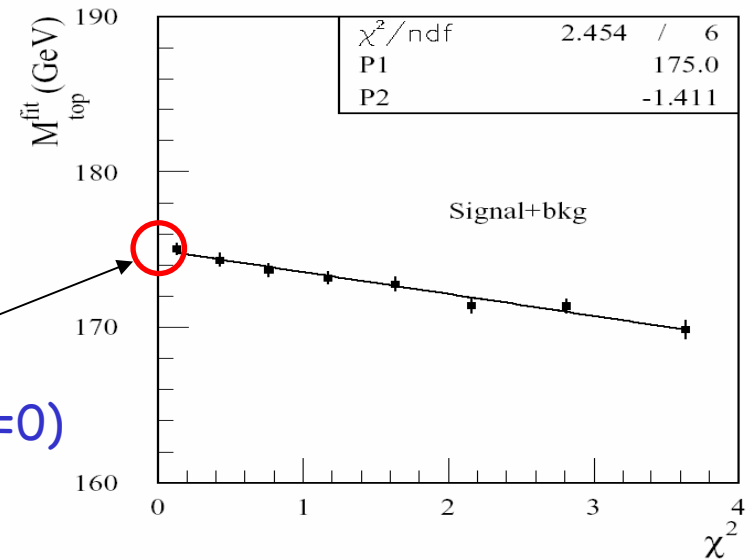
## □ Méthode de mesure (semileptonique)

- Ajustement cinématique evt par evt:

$$M_{jj} = M_{lv} = M_W \text{ and } M_{jjb} = M_{lvb} = M_{\top}^{\text{fit}}$$

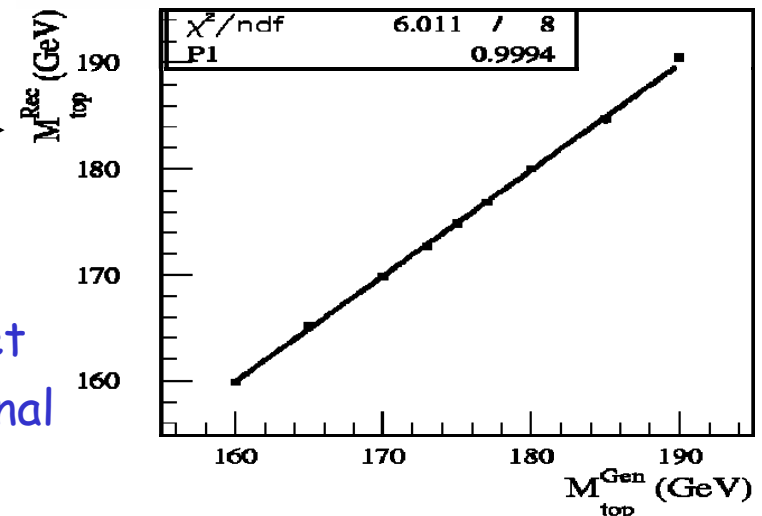
→  $(M_{\top}^{\text{fit}}, \chi^2)$  par tranches de  $\chi^2$

→ Estimateur de la masse du top:  $m_{\top} = M_{\top}^{\text{fit}}(\chi^2=0)$



## □ Résultats (semileptonique)

- $m_{\top}$  linéaire avec la masse générée du top →
- Erreur statistique:  $\sim 0.1 \text{ GeV}$
- Sélectionne des jets de b bien reconstruits et des evts avec peu de radiations dans l'état final



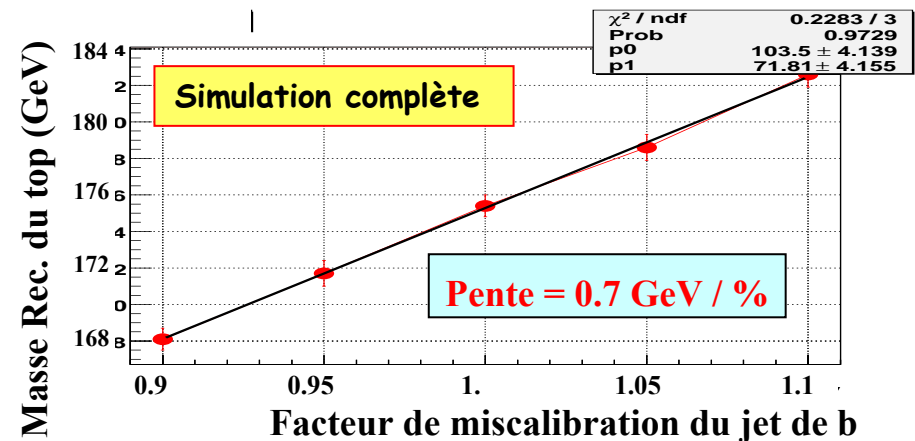
# Masse du top (2)

## Erreurs systématiques sur $m_t$ (GeV) dans le canal semileptonique

Source	ATLAS 10 fb <sup>-1</sup>
Echelle E(b) ( $\pm 1\%$ )	0.7
Radiations état final (FSR)	0.5
Echelle E(j) ( $\pm 1\%$ )	0.2
Fragmentation du b	0.1
Radiations état initial (ISR)	0.1
Fond combinatoire	0.1
TOTAL: Stat $\oplus$ Syst	0.9

EPJC39S2 (2005) 63

### Systematique de l'échelle E(b):



- Les autres méthodes donnent des erreurs systématiques plus grandes, mais peuvent être utilisées pour vérification

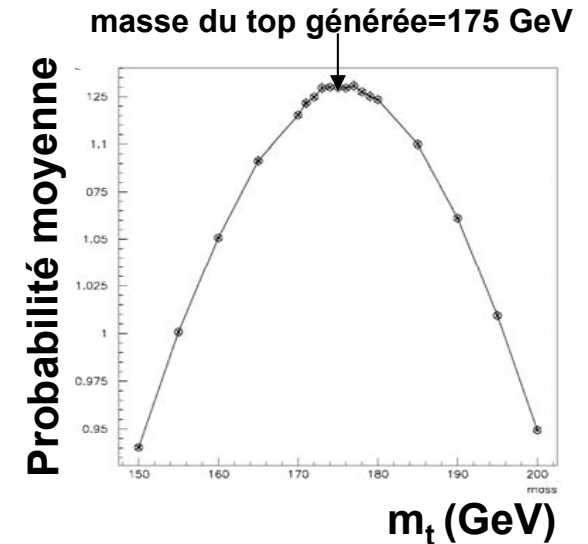
ATLAS peut mesurer  $M_t$  à  $\sim 1$  GeV dans le canal semileptonique

Attentes du Tevatron (2 fb<sup>-1</sup>)  $\sim 2$  GeV

# Masse du top (3)

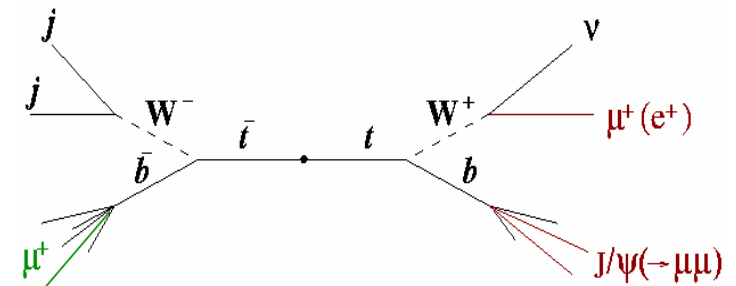
## □ Canal dileptonique ( $10 \text{ fb}^{-1}$ )

- Evt/evt: suppose  $m_t$  et calcule la **probabilité de la solution** (en utilisant la cinématique & topologie)
- Tous les evts: choisit  $m_t$  avec la plus grande probabilité moyenne
- Erreurs systématiques:  $\sim 2 \text{ GeV}$  (PDF + frag. du b)



## □ Etats finals avec $J/\psi$ ( $100 \text{ fb}^{-1}$ )

- Corrélation entre  $M_{J/\psi}$  et  $m_t$
- Pas d'erreurs systématiques venant de E(b) !
- $\sim 1000 \text{ evts}/100 \text{ fb}^{-1} \rightarrow \Delta M_t \sim 1 \text{ GeV}$



# Polarisation du W (1)

❑ Teste la décroissance du top (dans l'evt  $t\bar{t}$  reconstruit) ...

	W <sup>+</sup> Longitudinal (F <sub>0</sub> )	W <sup>+</sup> gauche (F <sub>L</sub> )	W <sup>+</sup> droit (F <sub>R</sub> )
Modèle Standard (M <sub>top</sub> =175 GeV) NLO	<b>0.703</b> $\left( = \frac{M_t^2}{M_t^2 + 2M_W^2} \right)$ 0.695	<b>0.297</b> $\left( = \frac{2M_W^2}{M_t^2 + 2M_W^2} \right)$ 0.304	<b>0.000</b> 0.001

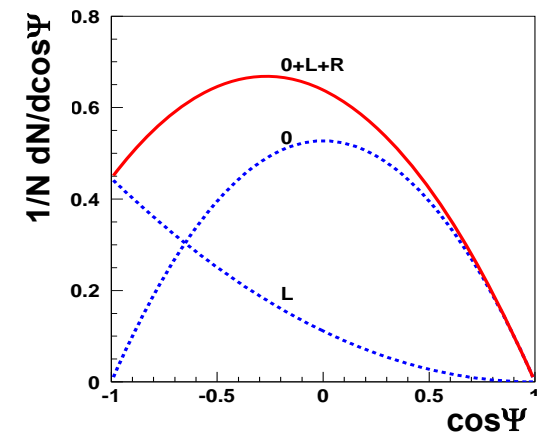
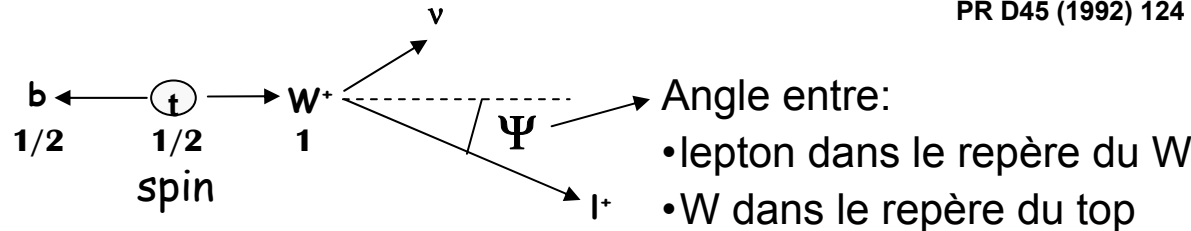
Sensible à la brisure de symétrie EF

Test de la structure V-A

❑ ...en mesurant la distribution angulaire du lepton chargé dans le repère du W

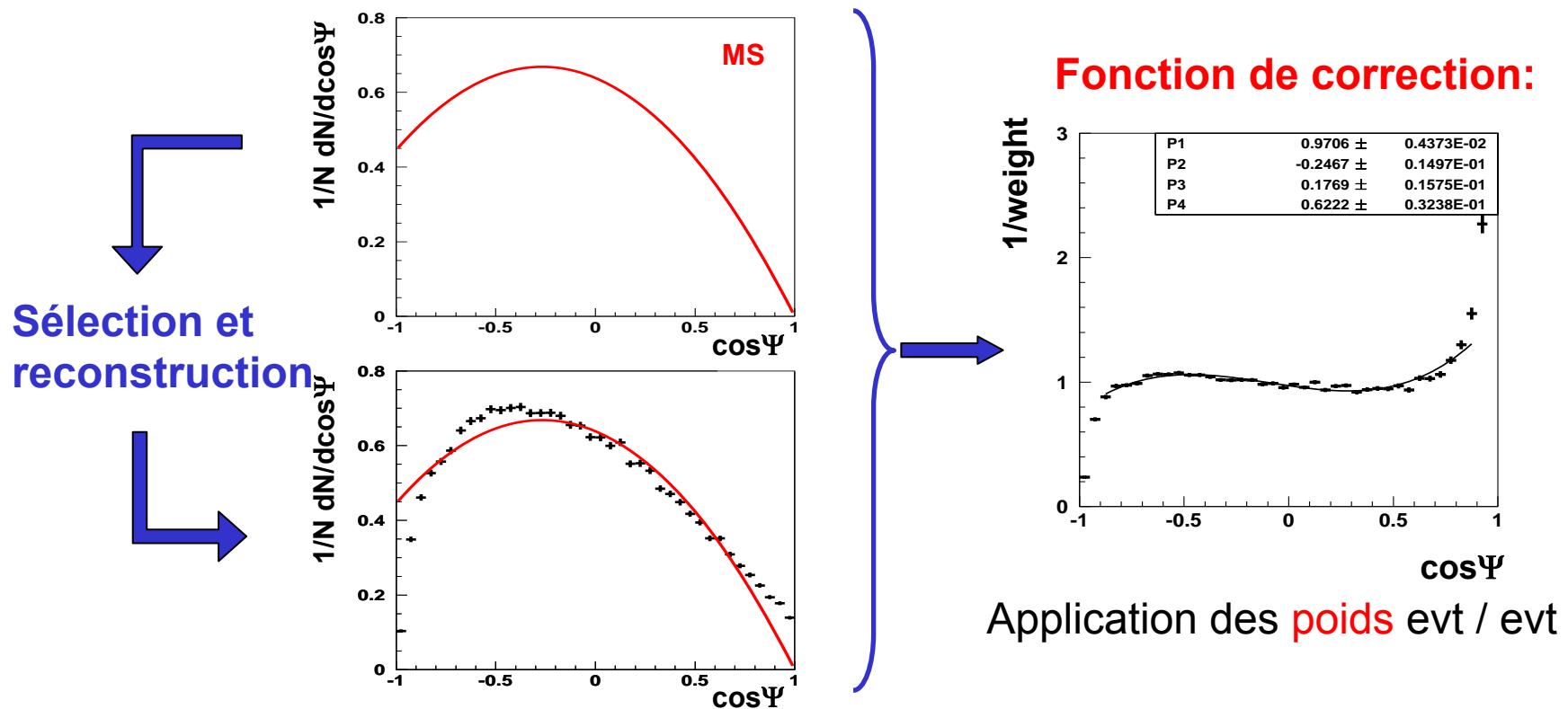
$$\frac{1}{N} \frac{dN}{d\cos\Psi} = \frac{3}{2} \left[ F_0 \cdot \left( \frac{\sin\Psi}{\sqrt{2}} \right)^2 + F_L \cdot \left( \frac{1-\cos\Psi}{2} \right)^2 + F_R \cdot \left( \frac{1+\cos\Psi}{2} \right)^2 \right]$$

PR D45 (1992) 124



# Polarisation du W (2)

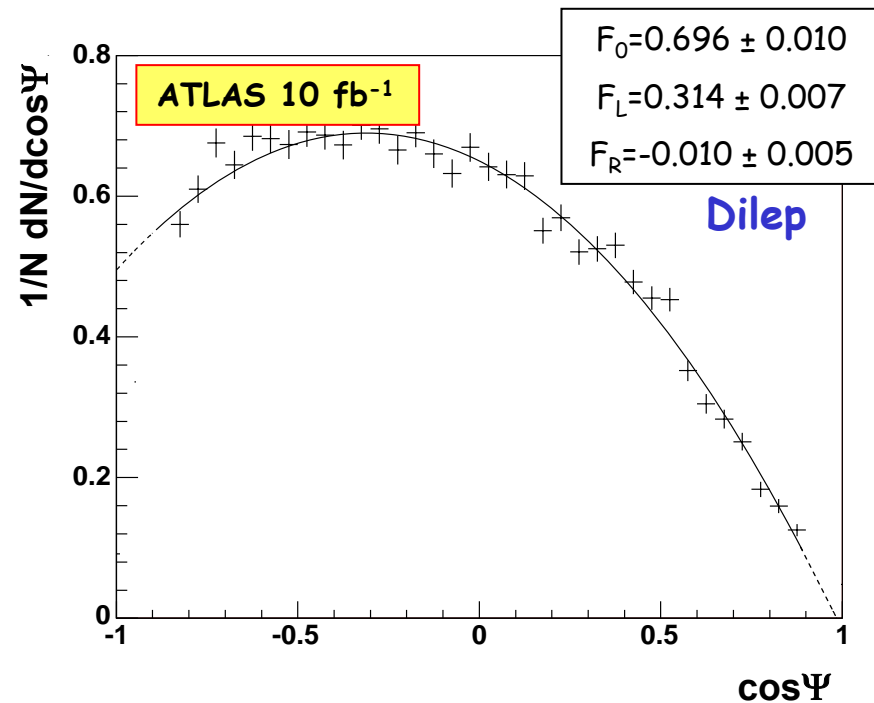
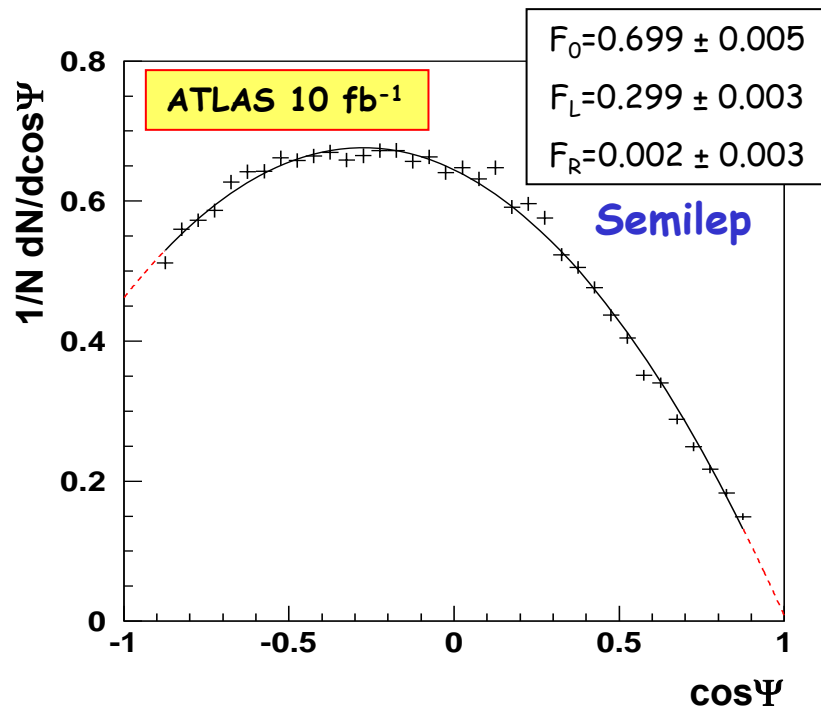
❑ Méthode de mesure (1): Fonction de correction



➔ Paramétrisation **unique** pour l'étude des erreurs systématiques

# Polarisation du W (3)

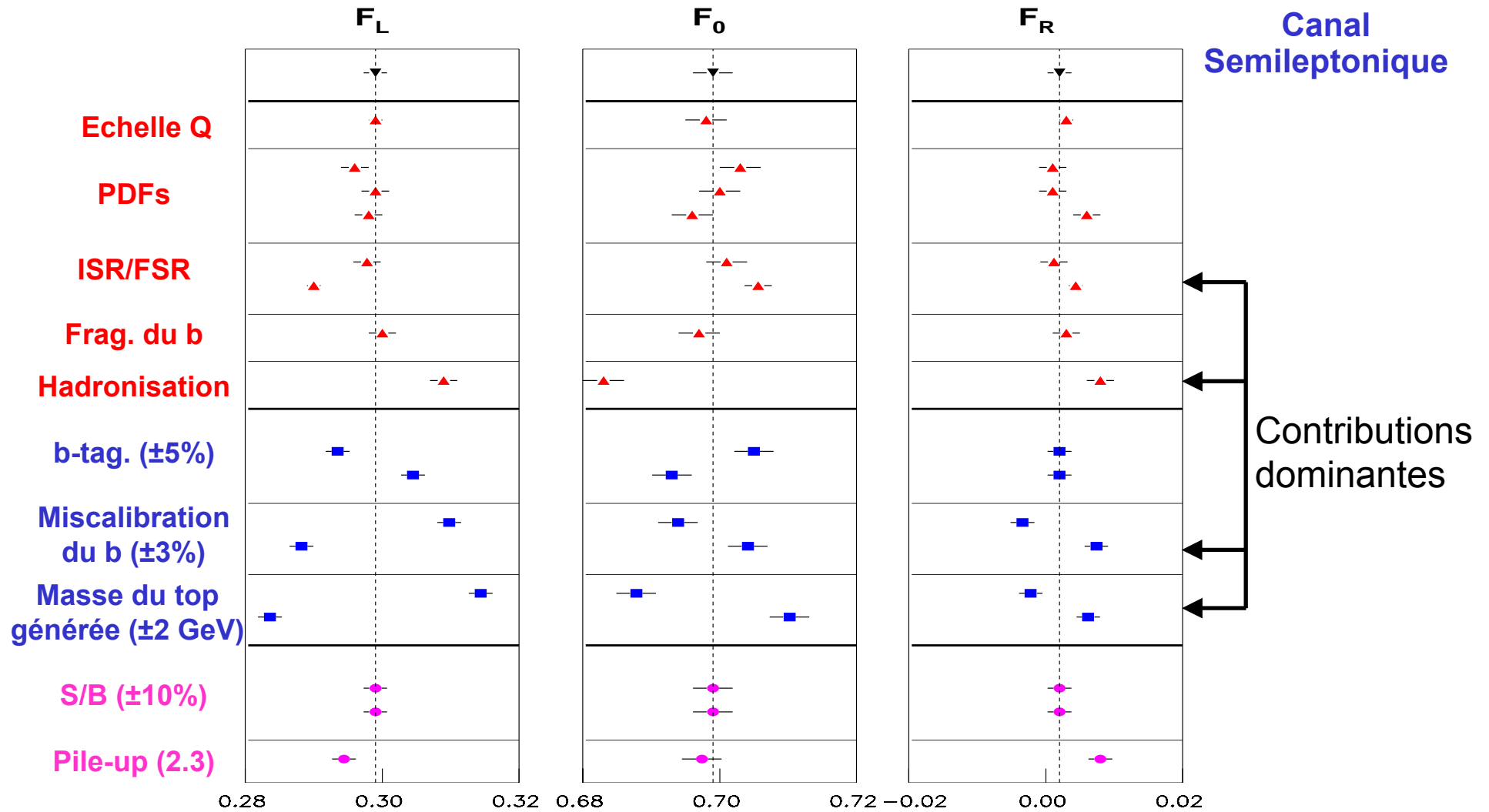
❑ **Méthode de mesure (2):** Fit à 2 paramètres avec  $F_0 + F_L + F_R = 1$



❑ **Résultats compatibles avec le MS: la méthode est non biaisée !**



# Polarisation du W (4)



# Polarisation du W (5)

□ Résultats en **combinant** les canaux semileptonique et dileptonique ( $10\text{fb}^{-1}$ )

	SM ( $M_t=175\text{ GeV}$ )	ATLAS ( $\pm\text{stat } \pm\text{syst}$ )
$F_L$	0.297	$\pm 0.003 \pm 0.024$
$F_0$	0.703	$\pm 0.004 \pm 0.015$
$F_R$	0.000	$\pm 0.003 \pm 0.012$

EPJC44S2 (2005) 13

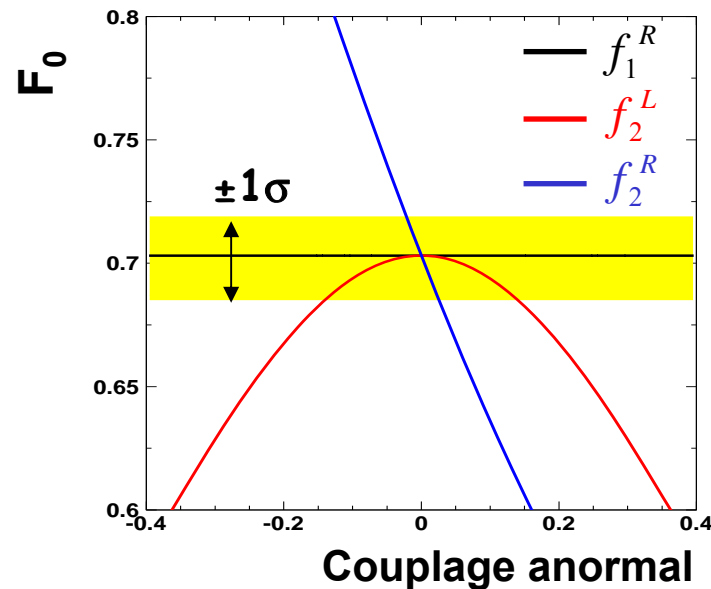
- La mesure est complètement dominée par les **erreurs systématiques**
- ATLAS ( $10\text{ fb}^{-1}$ ) peut mesurer  $F_0 \sim 2\%$  et  $F_R \sim 1\%$
- Attentes du Tevatron ( $2\text{ fb}^{-1}$ ):  $\delta F_0^{\text{stat}} \sim 0.09$  et  $\delta F_R^{\text{stat}} \sim 0.03$

# Polarisation du W (6)

- Polarisation du W → **sensibilité aux couplages tWb anormaux** en utilisant une approche indépendante du modèle (Lagrangien effectif)

$$L = \frac{g}{\sqrt{2}} W_\mu b \gamma^\mu (f_1^L P_L + f_1^R P_R) t - \frac{g}{\sqrt{2}\Lambda} \partial_\nu W_\mu b \sigma^{\mu\nu} (f_2^L P_L + f_2^R P_R) t + h.c.$$

$$P_{R/L} = \frac{1}{2}(1 \pm \gamma_5) \text{ and 4 couplages (MS LO } f_1^L = V_{tb} \approx 1, f_1^R = f_2^L = f_2^R = 0 \text{ )}$$



- Limite à  $2\sigma$  (stat $\oplus$ syst) sur  $f_2^R = 0.04$
- **3 fois meilleur que les limites indirectes (Usines à B, LEP)**
- Moins sensible à  $f_1^R$  et  $f_2^L$  déjà très contraints par les usines à B

# Corrélation de spin $t\bar{t}$ (1)

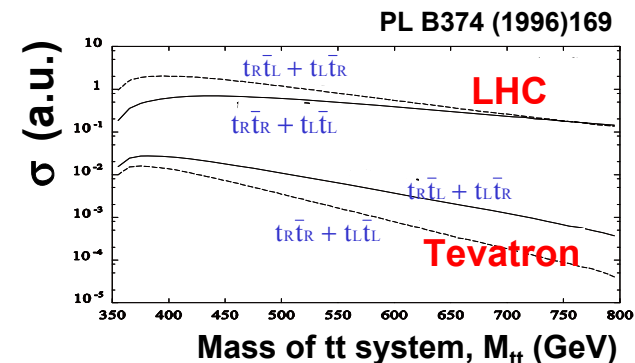
## □ Teste la production du top ...

- $t$  et  $\bar{t}$  non polarisés dans  $t\bar{t}$ , mais corrélations entre les spins de  $t$  et  $\bar{t}$

$$A = \frac{\sigma(t_L\bar{t}_L) + \sigma(t_R\bar{t}_R) - \sigma(t_L\bar{t}_R) - \sigma(t_R\bar{t}_L)}{\sigma(t_L\bar{t}_L) + \sigma(t_R\bar{t}_R) + \sigma(t_L\bar{t}_R) + \sigma(t_R\bar{t}_L)} = 0.33 \xrightarrow{M_{t\bar{t}} < 550 \text{ GeV}} A = 0.42$$

$$A_D = A_X + A_Y + A_Z = -0.24 \xrightarrow{} A_D = -0.29$$

spin du top  $\neq 1/2$ , couplages anormaux,  $t \rightarrow H^+ b$



## □ ... en mesurant la distribution des particules filles dans le repère du top

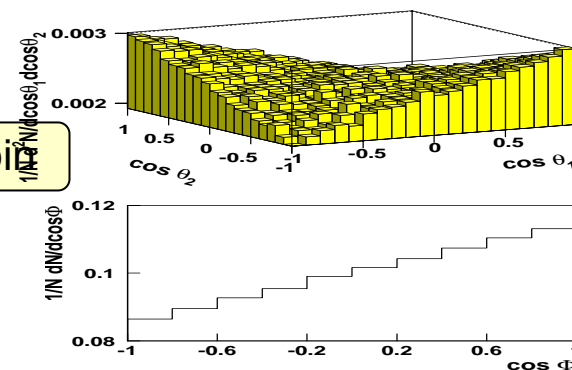
$$\frac{1}{N} \frac{d^2 N}{d(\cos \theta_1) d(\cos \theta_2)} = \frac{1}{4} (1 - A \alpha_1 \alpha_2 \cos \theta_1 \cos \theta_2)$$

Angle entre  $t(\bar{t})$  et les analyseurs de spin

$$\frac{1}{N} \frac{dN}{d \cos \Phi} = \frac{1}{2} (1 - A_D \alpha_1 \alpha_2 \cos \Phi)$$

Angle entre analyseurs de spin

NP B690 (2004) 81



# Corrélation de spin $t\bar{t}$ (2)

- ❑ **Méthode analogue** à la polarisation du W (sélection et reconstruction modifient les distributions du MS)
- ❑ Résultats en **combinant** les canaux semileptonique et dileptonique ( $10 \text{ fb}^{-1}$ )

	SM	ATLAS ( $\pm_{\text{stat}} \pm_{\text{syst}}$ )
A	0.42	$\pm 0.014 \pm 0.023$
$A_D$	-0.29	$\pm 0.008 \pm 0.010$

EPJC44S2 (2005) 13

- Erreurs systématiques dominées par l'échelle de  $E(b)$ , masse du top et FSR
- ATLAS ( $10 \text{ fb}^{-1}$ ) peut mesurer la corrélation de spin  $\sim 4\%$
- Attentes du Tevatron ( $2 \text{ fb}^{-1}$ ):  $\delta A^{\text{stat}}/A \sim 40\%$

# Charge du top

□  $Q_{\text{top}} = -4/3$  ( $t \rightarrow W^- b$  au lieu de  $t \rightarrow W^+ b$ ) ?

□ **Méthode 1: Mesure de  $\sigma(pp \rightarrow t\bar{t}\gamma)$**

- $\sigma(pp \rightarrow t\bar{t}\gamma)$  est proportionnel à  $Q_{\text{top}}^2$
- Après sélection+reconstruction ( $10\text{fb}^{-1}$ ),  
 $\sigma(Q = -4/3) > \sigma(Q = 2/3)$

	$Q=2/3$	$Q=-4/3$
$pp \rightarrow t\bar{t}\gamma$	80	250
Bruit de fond	70	70

ATL-PHYS-2003-035

□ **Méthode 2: Mesure la charge des produits de décroissance du top**

- Association des paires b-lepton issues du même top
- Calcul de la charge du b sur une base statistique:  $q_{\text{bjet}} = \frac{\sum_i q_i |\vec{j} \cdot \vec{p}_i|^{\kappa}}{\sum_i |\vec{j} \cdot \vec{p}_i|^{\kappa}}$ ,  $\kappa = 0.6$
- Séparation entre les 2 hypothèses de  $Q_{\text{top}}$  nécessite moins de données que pour la méthode 1 ( $\sim 1 \text{ fb}^{-1}$ )

□ **Tevatron:**

- D0 ( $360 \text{ pb}^{-1}$ ) exclut  $Q = -4/3$  à 94% CL (10/2005, pas encore publié)

# Single top (1)

## ❑ Sélection

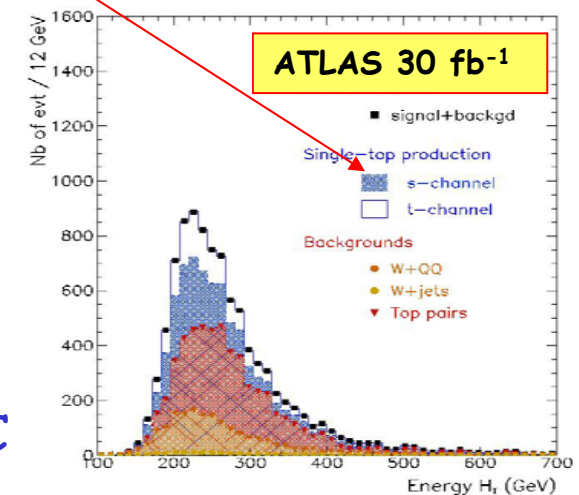
- S et S/B plus petits comparé à  $t\bar{t}$ :
  - ➔ Vraisemblance basée sur N(jet), N(b-jet),  $H_T = \sum p_T(\text{jet})$ ,  $M_{l\nu b}$
  - ➔ Nécessite  $30 \text{ fb}^{-1}$  (surtout  $W^*$ )
- Bruit de fond principal:  $t\bar{t}$ ,  $W$ +jets, ...

Signal (S) et BdF (B)  
sélectionné après  $30 \text{ fb}^{-1}$

Processus ( $W \rightarrow l\nu$ )	S	B	$\sqrt{(S+B)/S}$
W-g	7k	2k	1 %
Wt	5k	35k	4 %
W*	1k	5k	6 %

## ❑ Mesure de la section efficace ( $\sigma$ )

- Incertitude théorique: de  $\pm 4\%$  ( $W^*$ ) à  $\pm 8\%$  ( $W$ -g)
- Erreur **statistique** relative sur  $\sigma$  estimée avec  $\sqrt{(S+B)/S}$  pour les 3 processus séparément: **1%-6%**
- ➔ Erreurs stat. ⊕ théo. **~7-8%** par processus
- ➔ Contrôle du niveau de BdF avec les données du LHC



# Single top (2)

## □ Sensibilité à la nouvelle physique ( $W^*$ )

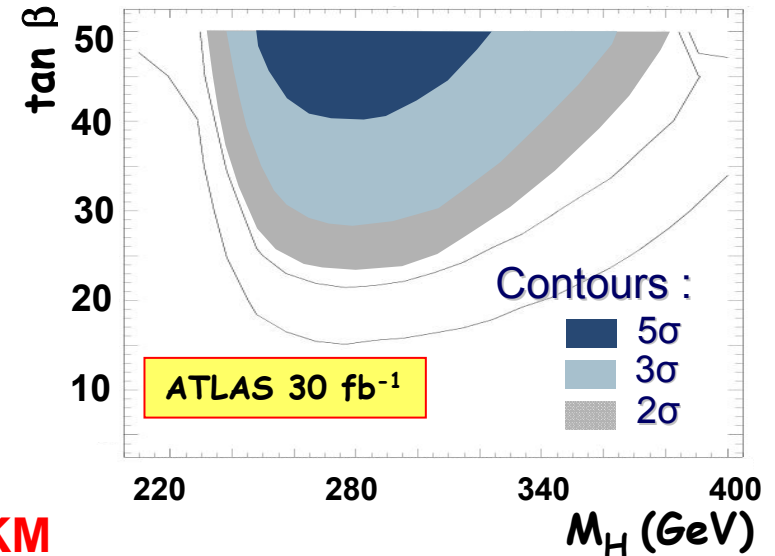
- La présence de  $H^+ \rightarrow tb$  augmente la section efficace
- Sensibilité pour grand  $\tan\beta$  et  $M_H > 200$  GeV
- Complémentaire à la recherche directe du Higgs chargé

## □ Accès direct à l'élément $V_{tb}$ de la matrice CKM

- $\sigma \propto |V_{tb}|^2 \rightarrow$  erreur **statistique** de 0.5% ( $Wg$ ) à 3% ( $W^*$ )
- Erreurs stat.  $\oplus$  théo.  $\sim 3-4\%$  pour chaque processus
- Augmente la sensibilité à la nouvelle physique en combinant avec les résultats de la polarisation du W ( $t\bar{t}$ )

## □ Le single top est hautement polarisé

- Précision **statistique** sur la polarisation du top  $\sim 2\%$  après 10  $\text{fb}^{-1}$





# Courants neutres changeant la saveur (FCNC)

- Les processus FCNC impliquant le top du MS sont très rares ( $BR < 10^{-13}-10^{-10}$ )
  - Les modèles au delà du MS prévoient des augmentations (BR jusqu'à  $10^{-5}$ )
  - Les FCNC peuvent être détectés dans la décroissance du top ( $t\bar{t}$ , single top)
  - Vraisemblance pour séparer signal et bruit de fond (principalement  $t\bar{t}$ )
- Sensibilité d'ATLAS à  $5\sigma$  / 95% CL au rapport d'embranchement FCNC dans  $t\bar{t}$

Processus	95% CL in 2005	ATLAS $5\sigma$ ( $10 \text{ fb}^{-1}$ )	ATLAS 95% CL ( $10 \text{ fb}^{-1}$ )
$t \rightarrow Zq$	$\sim 0.1$	$5 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$
$t \rightarrow \gamma q$	0.003	$1 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-5}$
$t \rightarrow gq$	0.3	$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$

← Reconstruit  $t \rightarrow Zq \rightarrow (l^+l^-)j$

← Grand bruit de fond QCD

ATL-PHYS-PUB-2005-009

→ ATLAS améliore les limites actuelles de  $\sim 10^2-10^3$  mais reste loin du MS

# Conclusions

- ❑ LHC sera déjà une usine à **W, Z, top** après 1 an ( $10 \text{ fb}^{-1}$ ). Les études QCD démarreront pendant la mise en service en 2007.
  - ❑ Les mesures de précision, sensibles à la nouvelle physique dès  $10 \text{ fb}^{-1}$ , seront dominées par les erreurs systématiques :
    - Masse du W **< 20 MeV** et du top  **$\sim 1 \text{ GeV}$**  → Contraint le MS  $M_H \sim 30\%$
    - Teste la production et décroissance du top en mesurant la polarization du W  **$\sim 1-2\%$**  et la corrélation de spin  **$\sim 4\%$**  → Couplages anormaux, spin du top  $\neq 1/2$
  - ❑ D'autres mesures auront besoin de plus de statistique ( $30/100 \text{ fb}^{-1}$ ):
    - *Single top*:  $\sigma \sim 8\%$  et  $V_{tb} \sim 4\%$  (pas de syst.) → Sensible à  $H^+ \rightarrow t b$  (2HDM)
    - TGC anormaux → Améliore les limites actuelles de  **$2-10^5$**
- ➔ **La physique de précision permettra d'évaluer le potentiel d' ATLAS**

# SPARES

# Planning du LHC

**STAGE 1**  
**INITIAL COMMISSIONING**  
 43 x 43 -> 156 x 156  $3 \times 10^{10}$  per bunch  
 Zero to Partial squeeze

SHUTDOWN

**STAGE 2**  
**75 ns OPERATION**  
 3-4 x  $10^{10}$  per bunch  
 Partial squeeze

**STAGE 3**  
**25 ns OPERATION**  
 3-4 x  $10^{10}$  per bunch  
 Partial to near full squeeze

LONG SHUTDOWN

**STAGE 4**  
**25 ns OPERATION**  
 push to nominal per bunch  
 Partial to full squeeze

$\langle L \rangle = 3 \cdot 10^{30}$

$\langle L \rangle = 5 \cdot 10^{32}$

$L = 1 \cdot 10^{33}$

$L = 2 \cdot 10^{33}$

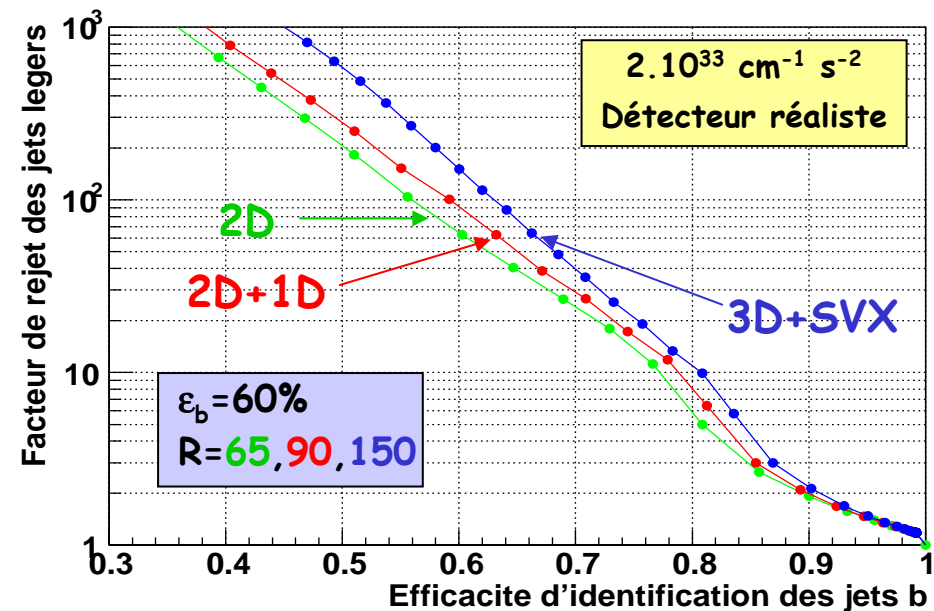
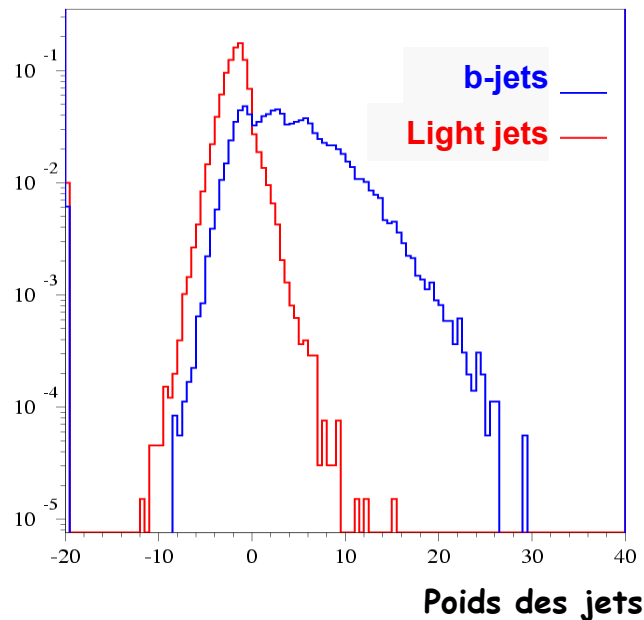
$\langle L \rangle = 5 \cdot 10^{33}$

$L = 1 \cdot 10^{34}$

Hardware commissioning	April	<b>2007</b>
Machine checkout	May	
Beam commissioning	June	
Pilot proton run	July	
	August	<b>2008</b>
Shutdown	September	
Machine checkout	October	
75ns commissioning	November	
First ION run	December	<b>2009</b>
75ns run	January	
Low intensity 25ns run	February	
Shutdown	March	
Machine checkout	April	<b>2010</b>
Startup and scrubbing	May	
Half intensity 25ns run	June	
Shutdown	July	
Machine checkout	August	<b>2011</b>
Startup and scrubbing	September	
Push to nominal 25ns	October	
Shutdown	November	
Machine checkout	December	<b>2011</b>
Startup and scrubbing	January	
Nominal 25ns	February	
	March	
	April	
	May	
	June	
	July	
	August	
	September	
	October	
	November	
	December	

# Performance: *b*-tagging

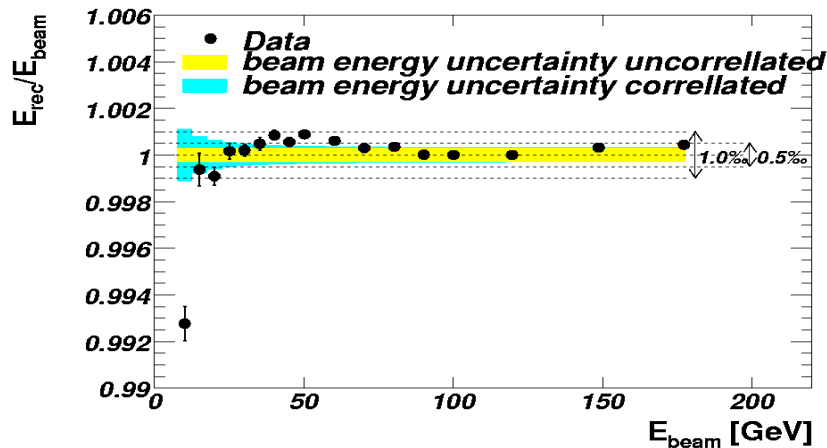
*Algorithme de b-tagging*: un poids est donné à chaque jet en combinant les paramètres d'impact signés (1D+2D) et la reconstruction des vertex secondaires (masse, nombre de vertex, ...)



# Performance: calo EM

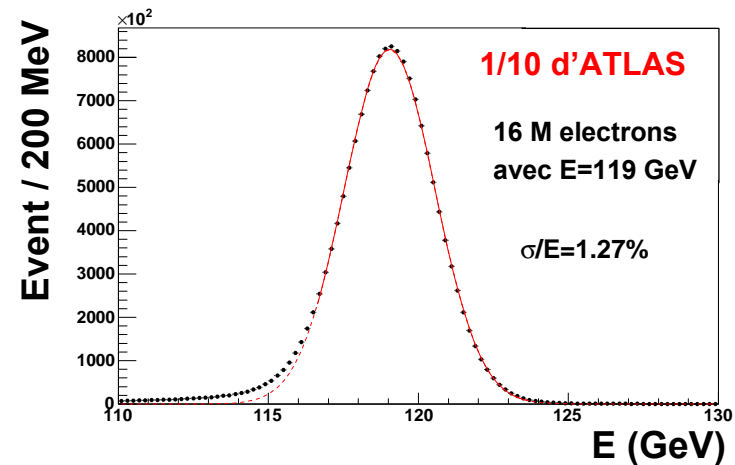
Résultats des test faisceaux sur les modules du calorimètre électromagnétique à argon liquide (2001-2002)

Linéarité (Tonneau,  $|\eta| < 1.4$ )



→ Linéarité à 0.1 %

Uniformité (Endcap,  $1.4 < |\eta| < 2.5$ )



→ Terme constant: 0.7 %

# Bruit de fond (canal semileptonique)

Signal et bruit de fond après 10 fb <sup>-1</sup>		
	Evts attendus (x10 <sup>6</sup> )	Evts après sélection + recons.
<b>W(→lv) +4jets (AlpGen)</b>	<b>~20</b> (p <sub>T</sub> <sup>jets</sup> >10 GeV)	<b>[400,1000]*</b>
QCD (b $\bar{b}$ )	6000 ( $\sqrt{s}$ >120 GeV)	200*
Z(→l+l) +jets } (Pythia)	50	12
ZZ+ZW+WW }	1	4
W(→lv) b $\bar{b}$ (AcerMC)	0.7	3
Single top	1.0	350
<b>t<math>\bar{t}</math> → τ+X</b>	<b>1.3</b>	<b>6200</b>
t $\bar{t}$ → hadr. } (TopReX)	3.7	70
<b>SIGNAL</b>	<b>2.5</b>	<b>85000</b>

\* Stat. de Poisson x63

\* Stat. x 8

**Non t $\bar{t}$ : 50 < S/B < 90**

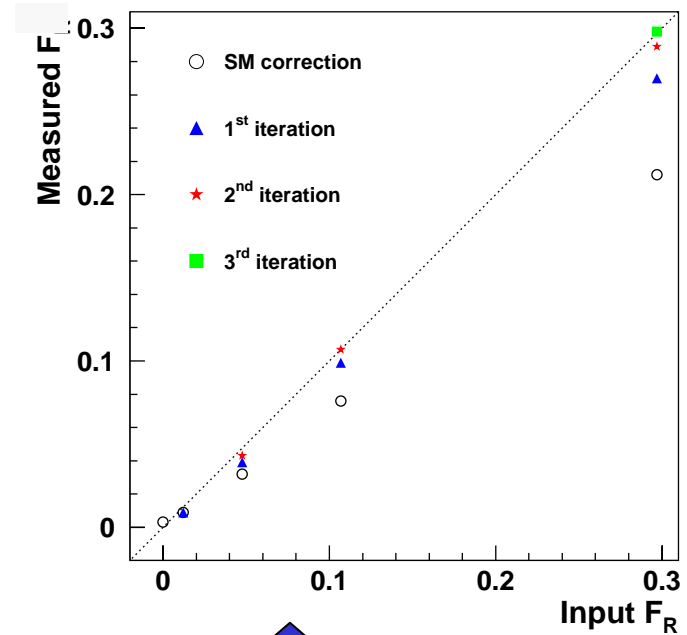
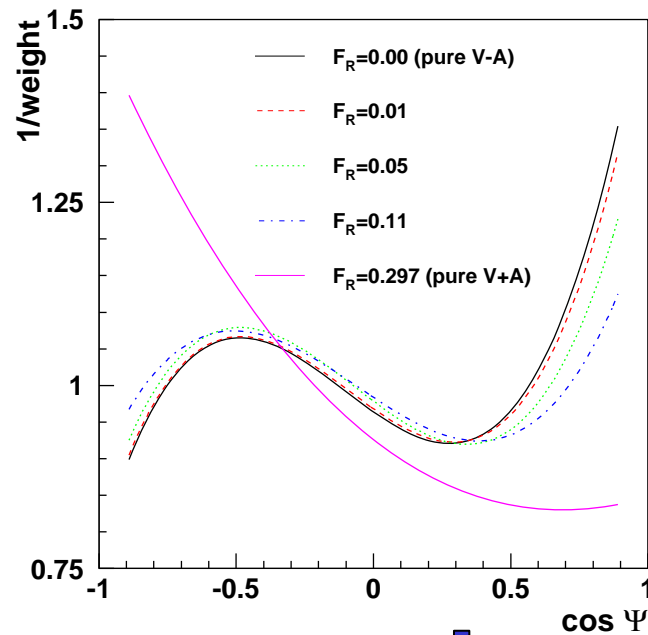
**t $\bar{t}$  → τ+X: S/B=13**

Normalisation et forme du  
Bruit de fond sous contrôle

**S/B~12; bruit de fond principal t $\bar{t}$  → τ + X**

# Polarization du W: composante V+A

Changement attendu de la fonction de correction dans le cas d'une composante V+A → biais



↙ Processus itératif ↘



# Polarisation du top

Dans le repère du top, les effets de polarisation ( $S$ ) sont observés en mesurant les distributions angulaires des particules filles :

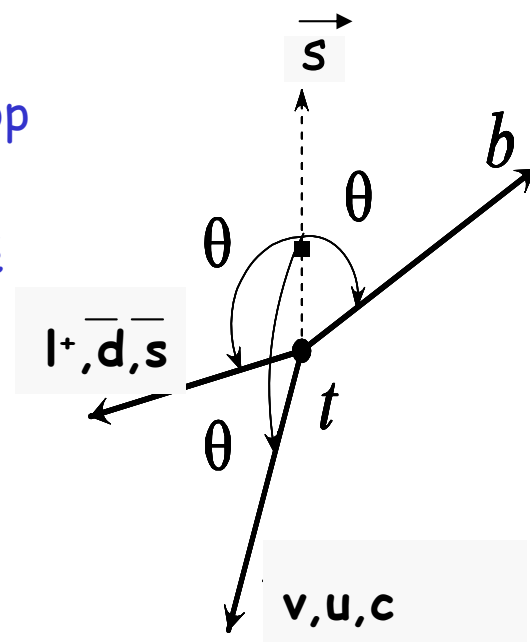
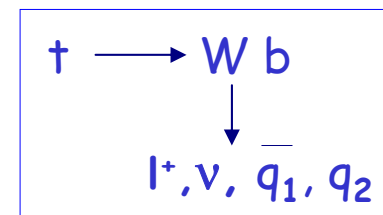
$$\frac{1}{N} \frac{dN}{d \cos \theta_i} = \frac{1}{2} (1 + S \alpha_i \cos \theta_i)$$

PL B329 (1994) 317

$\theta_i$  : angle entre une particule de la décroissance du top et l'axe de quantification du spin du top  $\vec{s}$

$\alpha_i$  : degré avec lequel l'angle de cette particule est lié au spin du top

	W	b	$l^+, d, s$	$\nu, u, c$
$\alpha$ (NLO)	0.40	-0.40	1.	-0.32



# Recherche de résonances $t\bar{t}$

- Certains modèles théoriques prédisent des résonances décroissant en  $t\bar{t}$ 
  - Higgs  $MS$  (BR plus petit comparé aux décroissances  $WW$  et  $ZZ$ )
  - Higgs  $MSSM$  ( $H/A$ , si  $m_H, m_A > 2m_t$ ,  $BR(H/A \rightarrow t\bar{t}) \approx 1$  pour  $\tan\beta \approx 1$ )
- Exercice: Reconstruire  $M_{t\bar{t}}$  si  $\sigma_X$ ,  $\Gamma_X$  et  $BR(X \rightarrow t\bar{t})$  de la résonance  $X$  connus
  - Canal de décroissance  $t\bar{t}$  semileptonique
  - Bruit de fond =  $t\bar{t}$  du  $MS$

