



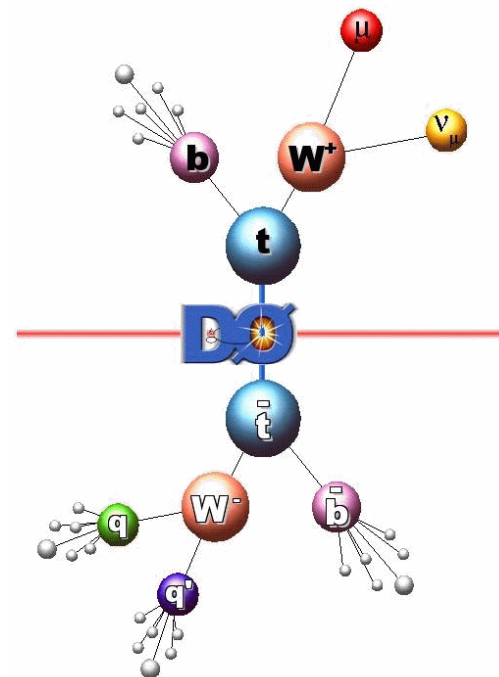
Physique du top dans DØ

Mathieu Agelou

CEA - Saclay

DAPNIA/SPP

- Le top dans le modèle standard
- TeVatron, DØ
- Section efficace $t\bar{t}$
- Propriétés : - BR($t \rightarrow Wb$)
- Hélicité du W
- masse
- Single top



Le quark top

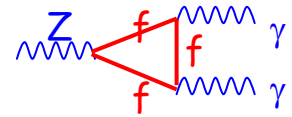
- **Prévu dès la fin des années 70 :**

- **par la théorie**

- Violation de CP possible seulement avec 3 familles (GIM \rightarrow CKM)
- Anomalies triangulaires

- **par l'expérience :** découverte de la troisième famille

- le lepton tau τ en 1975 à SLAC (PRL35 (1406) 1974)
- l'upsilon Υ , état lié $b\bar{b}$, en 1977 au Fermilab (PRL39 (252) 1977)



- **Recherches directes :**

- **Collisionneurs e^+e^- :**

- PETRA (Hambourg), TRISTAN (Japon) $m_t > 30 \text{ GeV}$ (1990)
- LEP1 : $m_t > 45 \text{ GeV}$ (1990)

- **Collisionneurs $p\bar{p}$:**

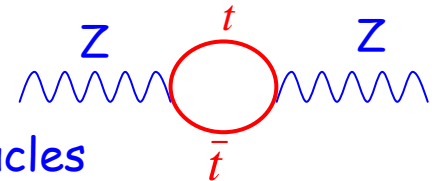
- SpS : $m_t > 69 \text{ GeV}$ (1990)
- Tevatron : $m_t > 91 \text{ GeV}$ (1992)

- **Recherches indirectes :**

LEP : Rôle important dans les **corrections radiatives** :

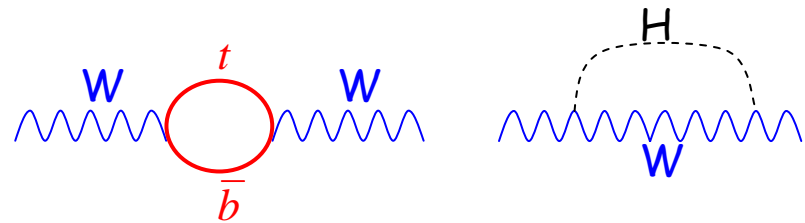
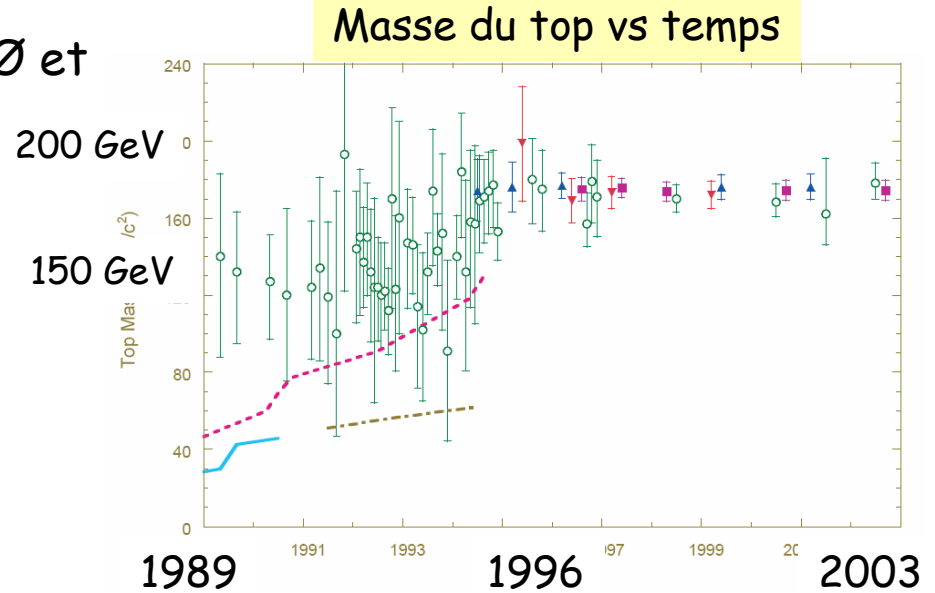
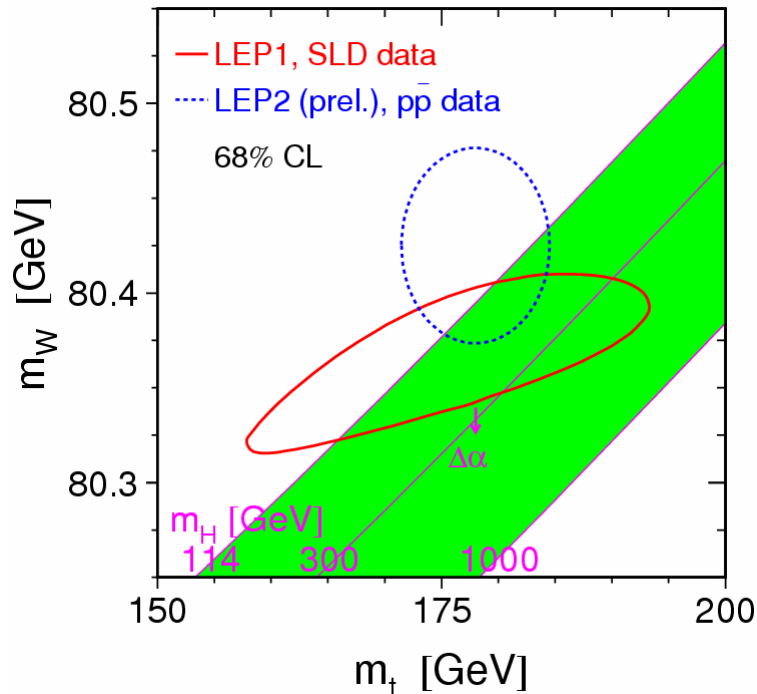
De nombreuses observables dépendent de **sa masse via les boucles**

en 1994 : $m_t^{\text{fit}} = 177 \pm 21 \text{ GeV}$



La découverte

- Découvert en 1995 au Fermilab par DØ et CDF (production par paires)
- 1 paire de tops pour 10^{10} collisions
- ~100 tops au Run I



$$m_t = 178.0 \pm 4.3 \text{ GeV}$$

Masse proche de l'échelle de brisure de la symétrie EW.

$$\sigma_{t\bar{t}} = 6.2 \pm 1.2 \text{ pb}$$

@ $\sqrt{s} = 1.8 \text{ TeV}$

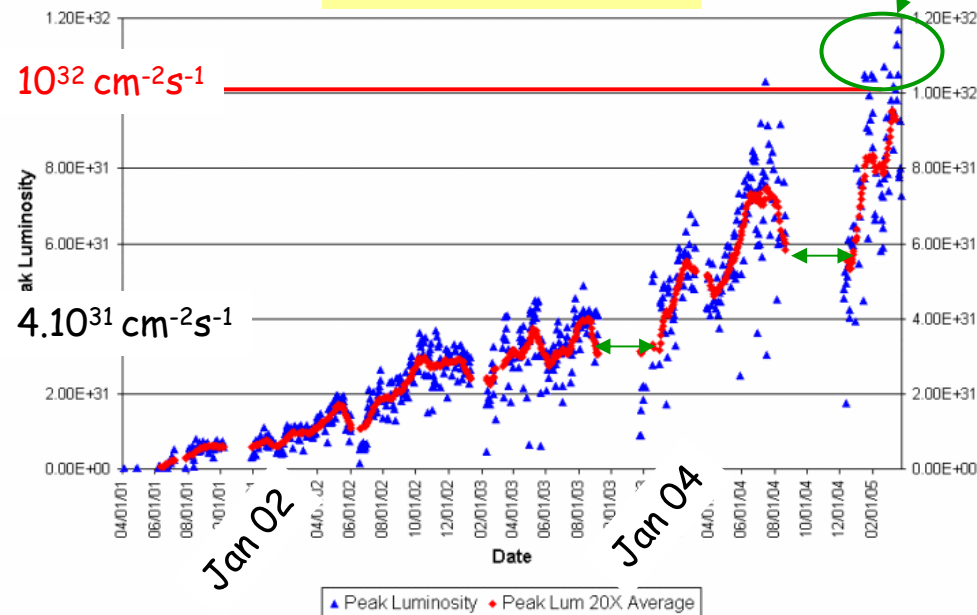
Le TeVatron

- Collisionneur $p\bar{p}$ $p\bar{s} = 1.96$ TeV
- Deux expériences : DØ , CDF
- Run II depuis mars 2001

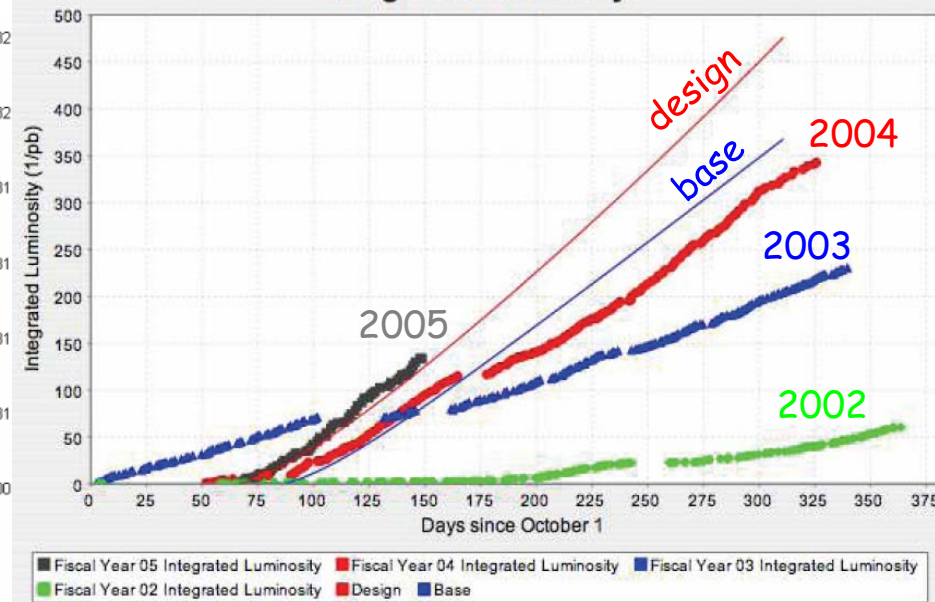
La semaine dernière :
Nouveau record :
 21 pb^{-1} , $1.17 \cdot 10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

Nombreux runs au dessus de $10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

Luminosité pic



Luminosité intégrée

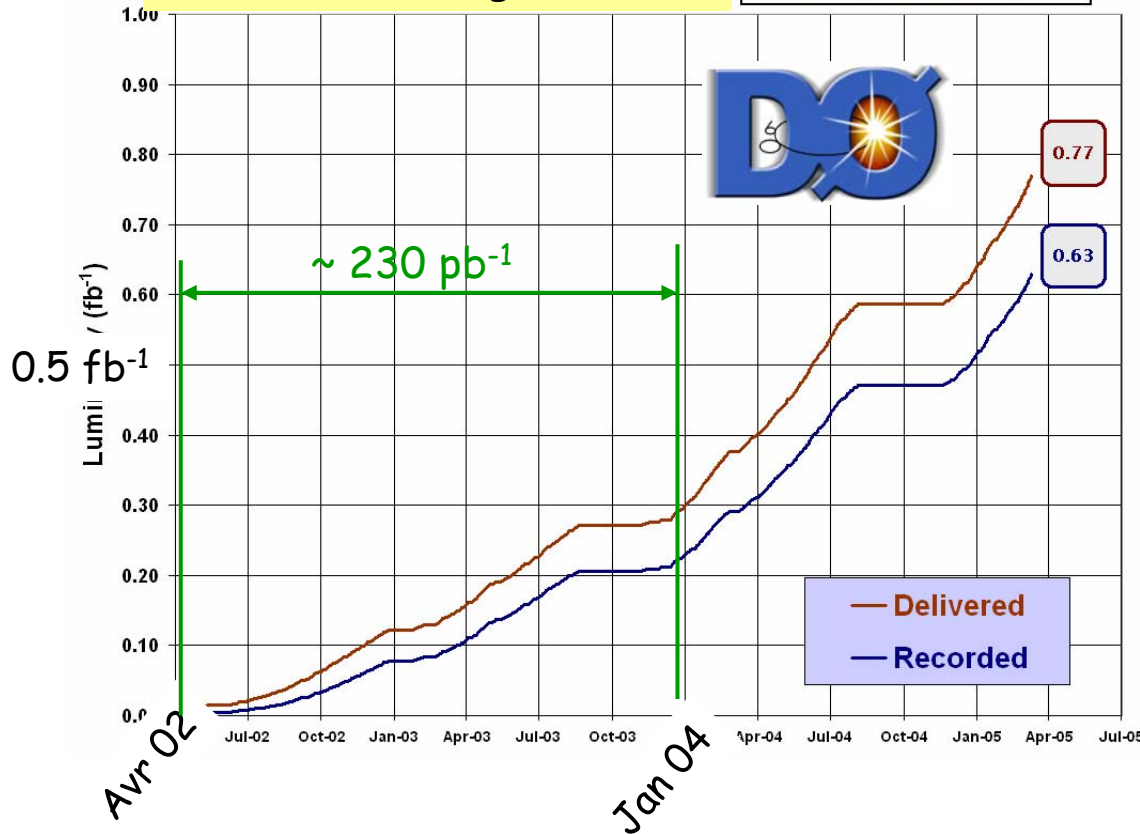


Le TeVatron fonctionne bien !

La prise de données dans DØ

Luminosité intégrée

19 April 2002 - 28 March 2005



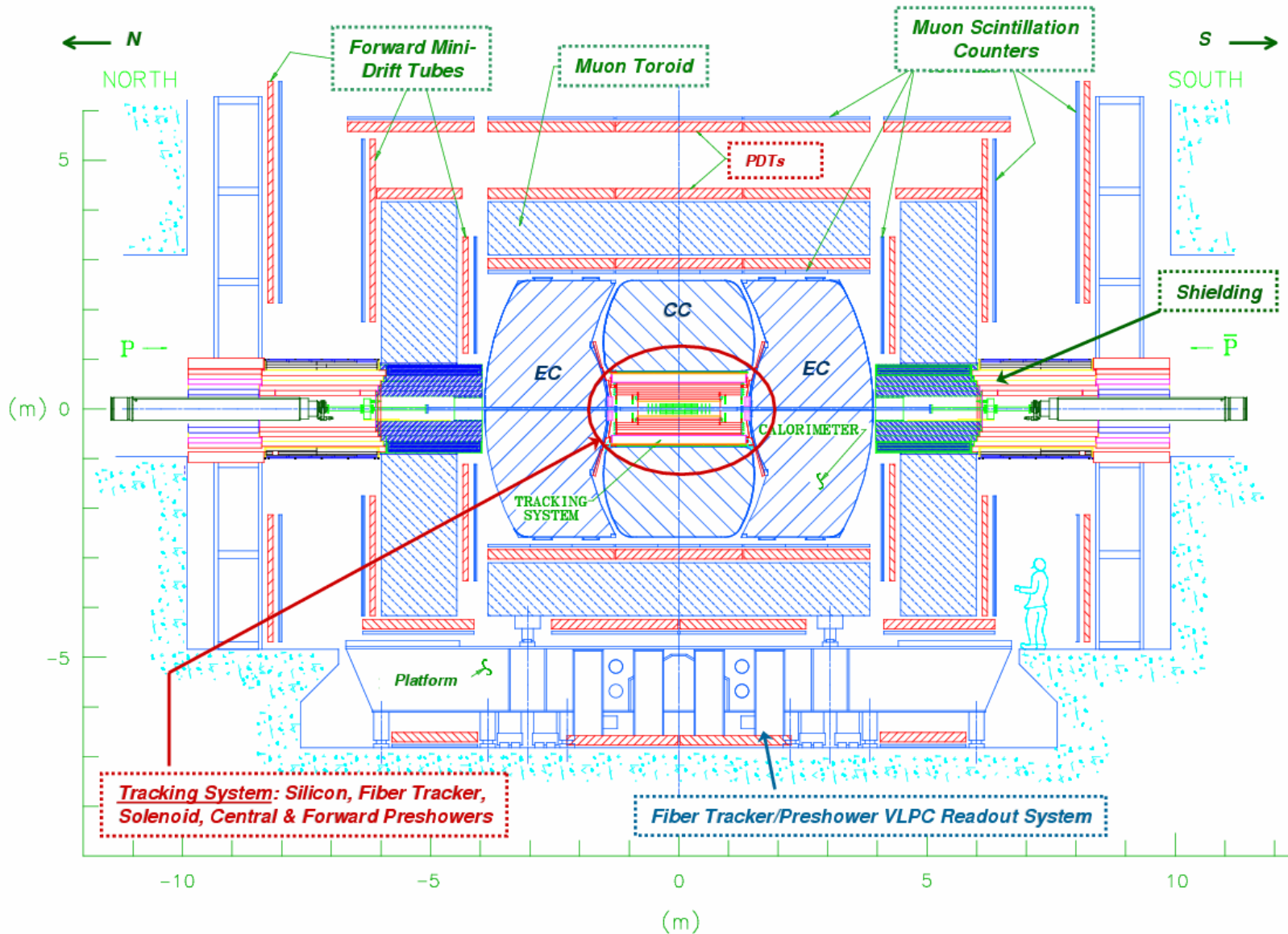
ϵ de la prise de données stable et supérieure à 85%

~630 pb⁻¹ sur bande

Luminosité utilisée pour les analyses présentées ici :

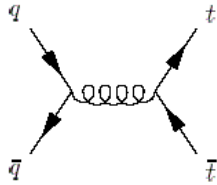
~ 140 à 230 pb⁻¹

Le détecteur DØ



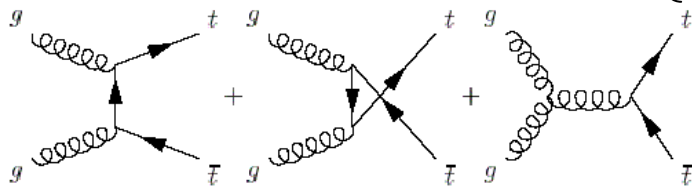
Sections efficaces

Production de top en paires



85% annihilation $q\bar{q}$
15% fusion de gluons

(C'est l'inverse au LHC)



Dans le modèle standard :
t ! Wb dans 100% des cas

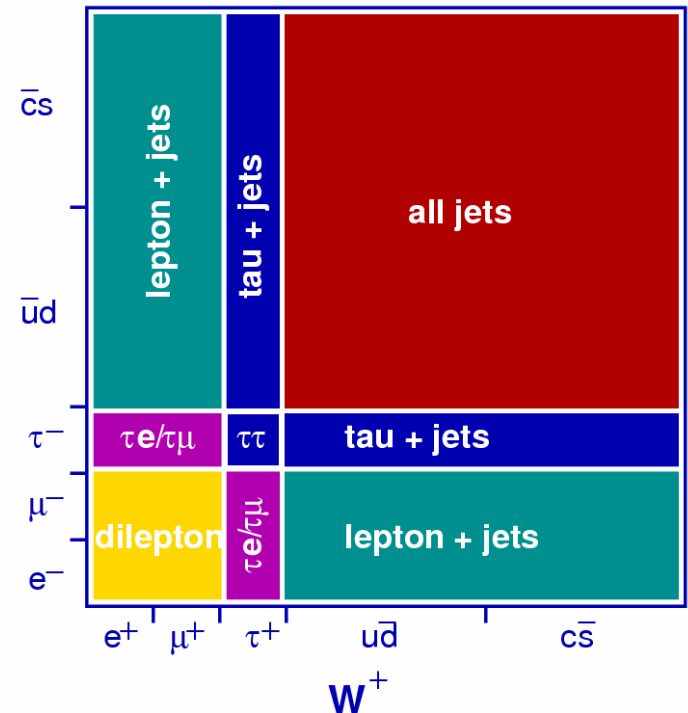
L'état final dépend de la désintégration des W :

$$\frac{3}{4}\sigma_{h} = 6.77\text{pb} @ 1.96 \text{ TeV}$$

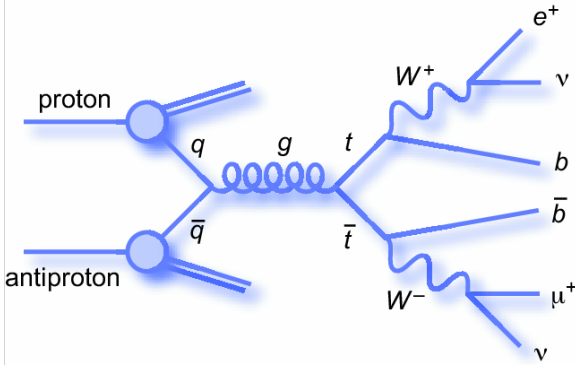
Bruits de fond :

- QCD+bb : jet mal mesuré, lepton dans jet
- W+jets : bruit de fond irréductible pour l+jets
- WW, ZW, Z+jets, ...

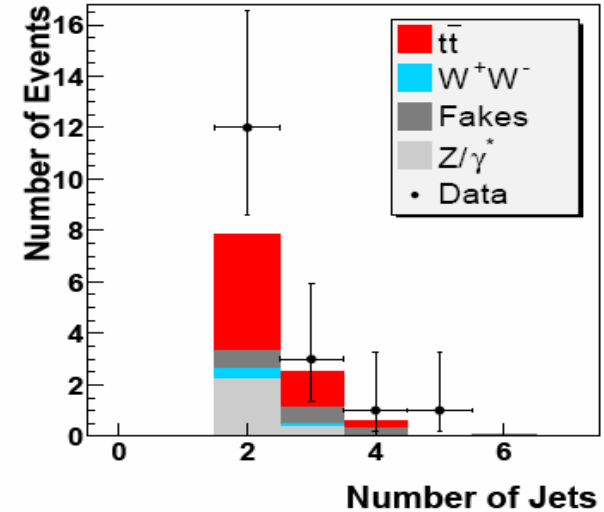
Importance de l'identification des b ("b-tagging")



Section efficace $t\bar{t}$: canal dilepton (e,μ)



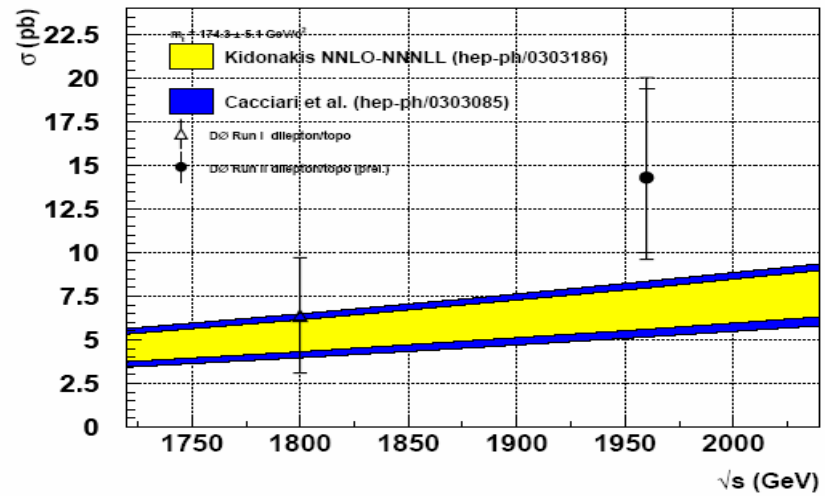
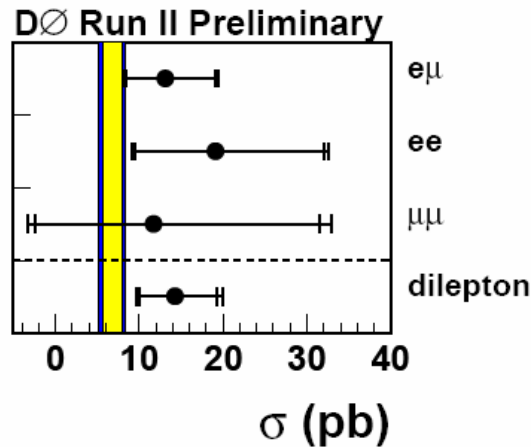
Category	ll
Z/γ^*	2.66 ± 0.53
WW	0.53 ± 0.11
Fakes	1.56 ± 0.36
Total background	4.76 ± 0.65
Expected signal	5.99 ± 0.50
SM expectation	10.76 ± 0.83
Selected events	17



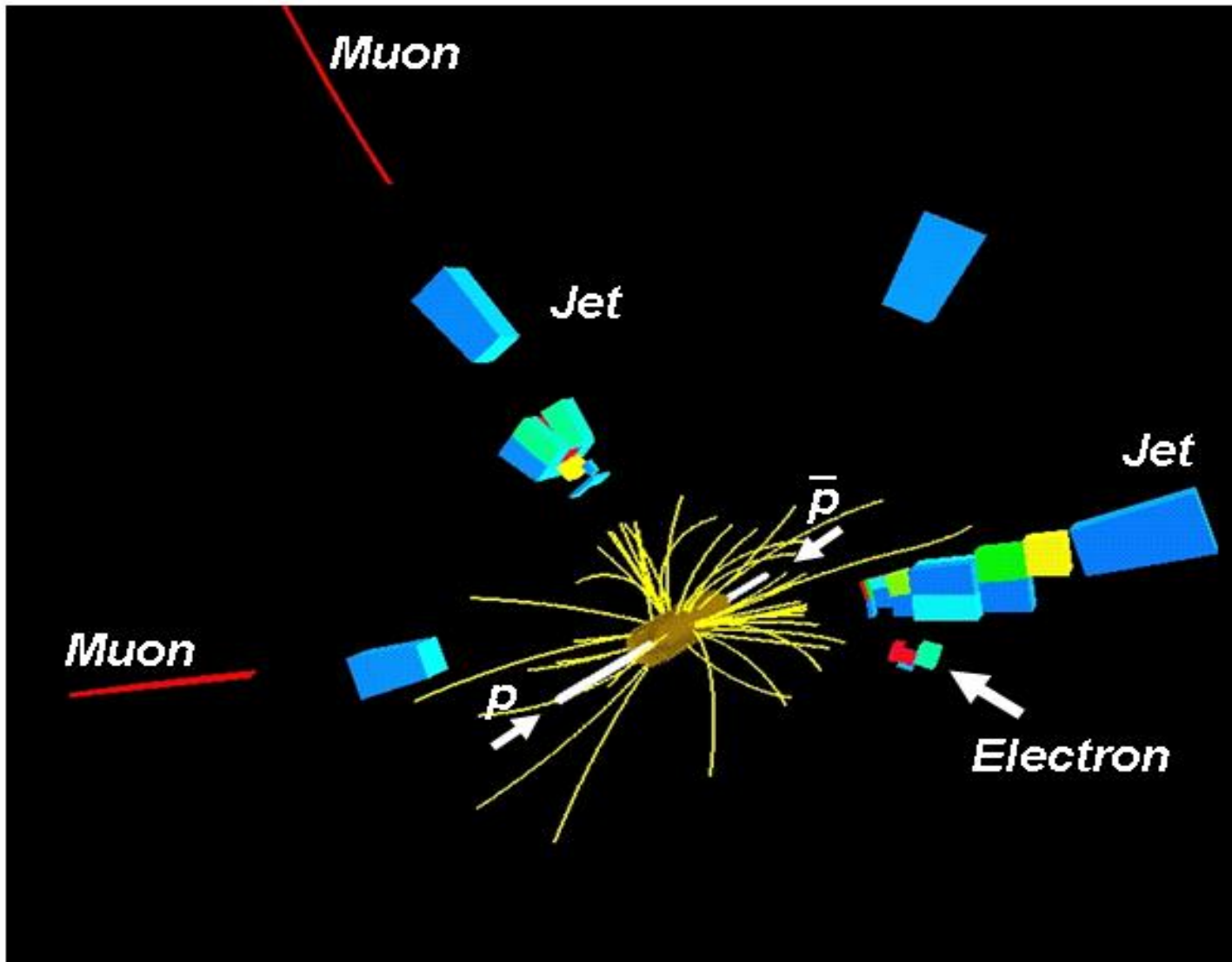
$$\mathcal{L} \sim 150 \text{ pb}^{-1}$$

$$\frac{3}{4} t\bar{t} = 14:3^+_{-1} 5:1^+_{-4} (\text{stat})^+_{-3} 2:6^+_{-1} (\text{syst}) \S 0:9 (\text{lum}) \text{ pb}$$

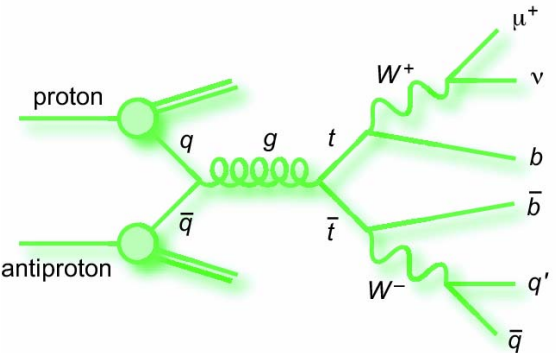
- Canal di-leptons:**
- petit BR (4.5%)
 - peu de bruits de fond : $WW, Z \rightarrow \tau\tau$
 - 2 leptons énergiques ($>15 \text{ GeV}$)
 - 2 jets ($> 20 \text{ GeV}$)
 - $E_T > 25 \text{ GeV}$



Candidat top en $e\mu$



Section efficace $t\bar{t}$: canal lepton+jets (e, μ)

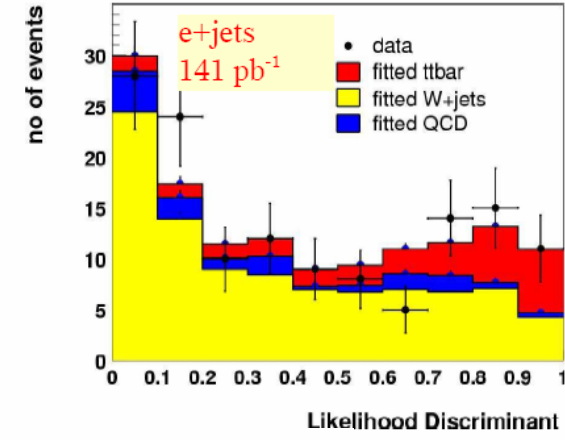
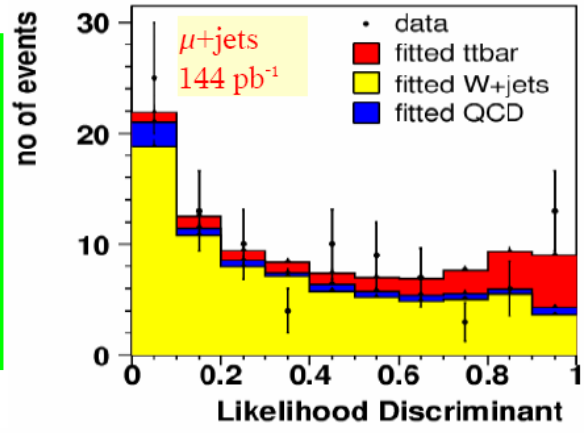


$$\mathcal{L} = 144 \text{ pb}^{-1}$$

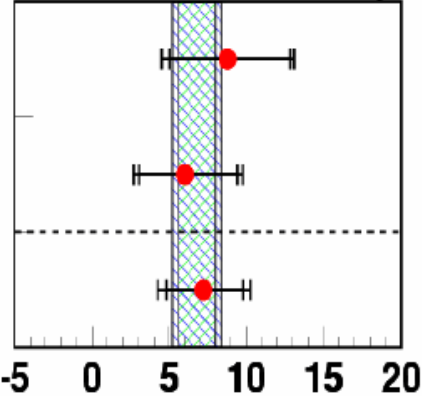
Construction d'une variable discriminante :
Variables topologiques (sphéricité, aplanarité...)

	<i>muons</i>	<i>electrons</i>
N_{ev}	100	136
<i>fitted</i> N^{W}	$74.7 + 12.7 - 12.0$	$94.6 + 15.8 - 15.0$
<i>fitted</i> N^{QCD}	$7.1 + 0.9 - 0.9$	$14.1 + 1.2 - 1.2$
<i>fitted</i> $N^{t\bar{t}}$	$17.8 + 9.9 - 8.7$	$27.5 + 12.7 - 11.7$

- Canal lepton + jets:**
- Grand BR (~30%)
 - BdF : W+jets et QCD
 - 1 lepton de grand P_T ($>20\text{GeV}$)
 - Grande E_T ($>20\text{GeV}$)
 - Au moins 4jets ($P_T > 20\text{GeV}$)



DØ Run II Preliminary



e+jets (topological)

$$8.8^{+4.1}_{-3.7} (stat)^{+1.6}_{-2.1} (sys) \pm 0.57 (lumi) \text{ pb}$$

μ+jets (topological)

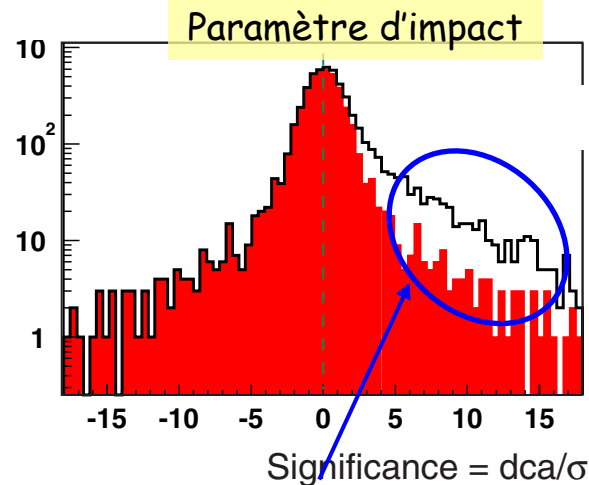
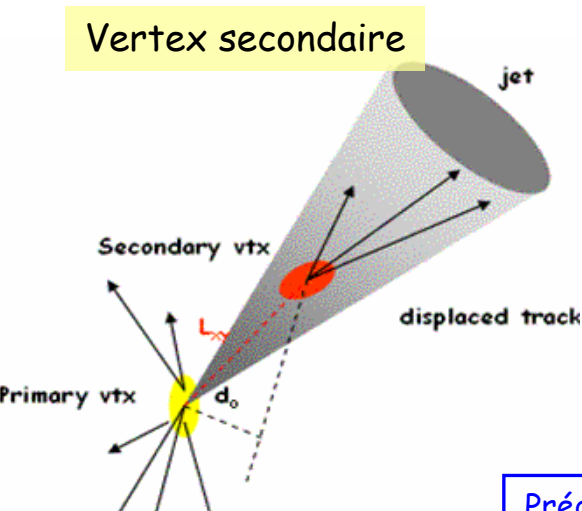
$$6.0^{+3.4}_{-3.0} (stat)^{+1.6}_{-1.6} (sys) \pm 0.39 (lumi) \text{ pb}$$

lepton+jets (topological)

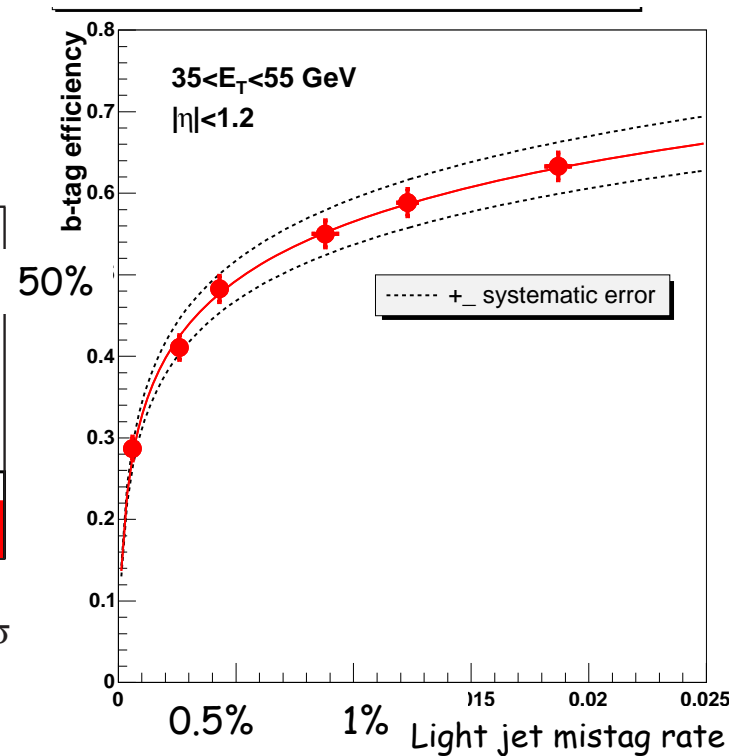
$$7.2^{+2.6}_{-2.4} (stat)^{+1.6}_{-1.7} (sys) \pm 0.47 (lumi) \text{ pb}$$

Étiquetage des jets de b

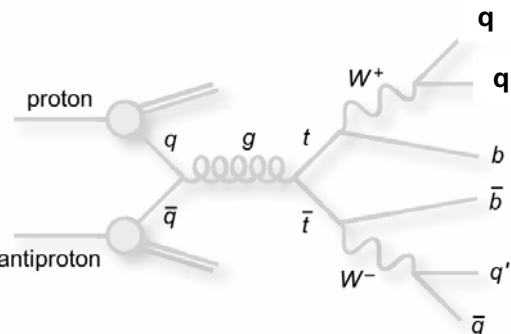
- 2 b dans l'état final !
- Plusieurs algorithmes possibles :
 - Le *soft lepton tag* : on cherche un lepton dans un jet désintégration semi-leptonique des B. $BR(b \rightarrow c^+ \ell^0) + BR(b \rightarrow c^+ s^+ \ell^0) \approx 18\%$
 - Les hadrons beaux ont un temps de vie de $\sim 1.6\text{ps}$ \rightarrow ils volent avant de se désintégrer ($\sim 3\text{mm}$)
 - recherche de *vertex secondaires*
 - Utilisation du paramètre d'impact



Prédominance des b pour les grands paramètres d'impact.



Section efficace $t\bar{t}$: canal hadronique

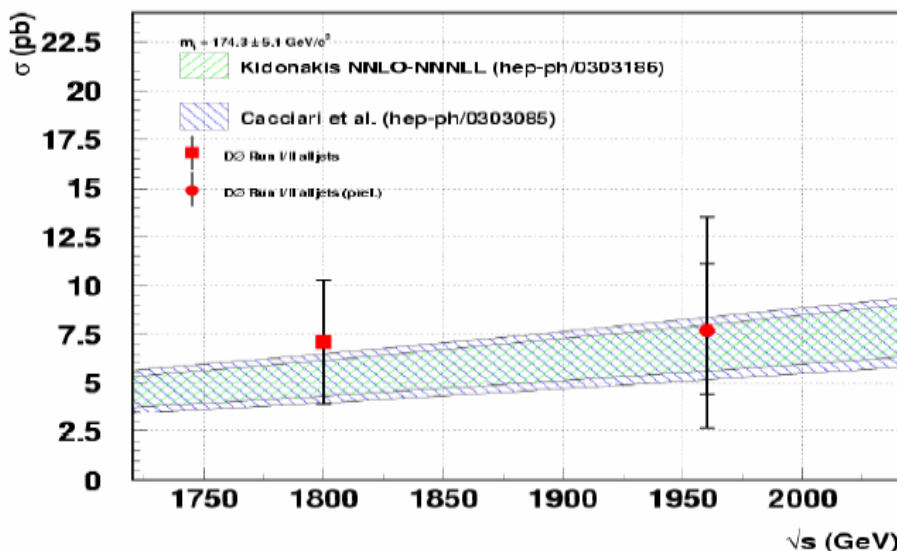
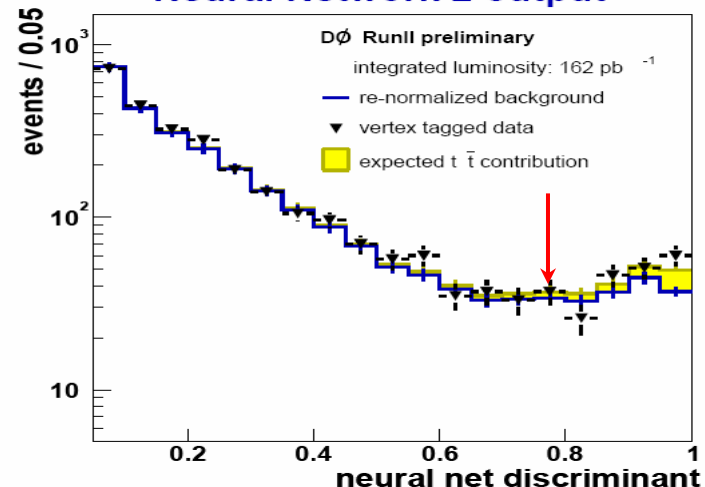


$$\mathcal{L} = 162 \text{ pb}^{-1}$$

Canal hadronique:

- Grand BR (44.4%)
- Bruit de fond : QCD
- importance du b-tagging
- 6 jets $P_T > 15 \text{ GeV}$
- 1 jet de b
- utilisation d'un réseau de neurones (13 variables)

Neural Network 2 output



$$N_{\text{obs}} = 220$$

$$N_{\text{bkg}} = 186$$

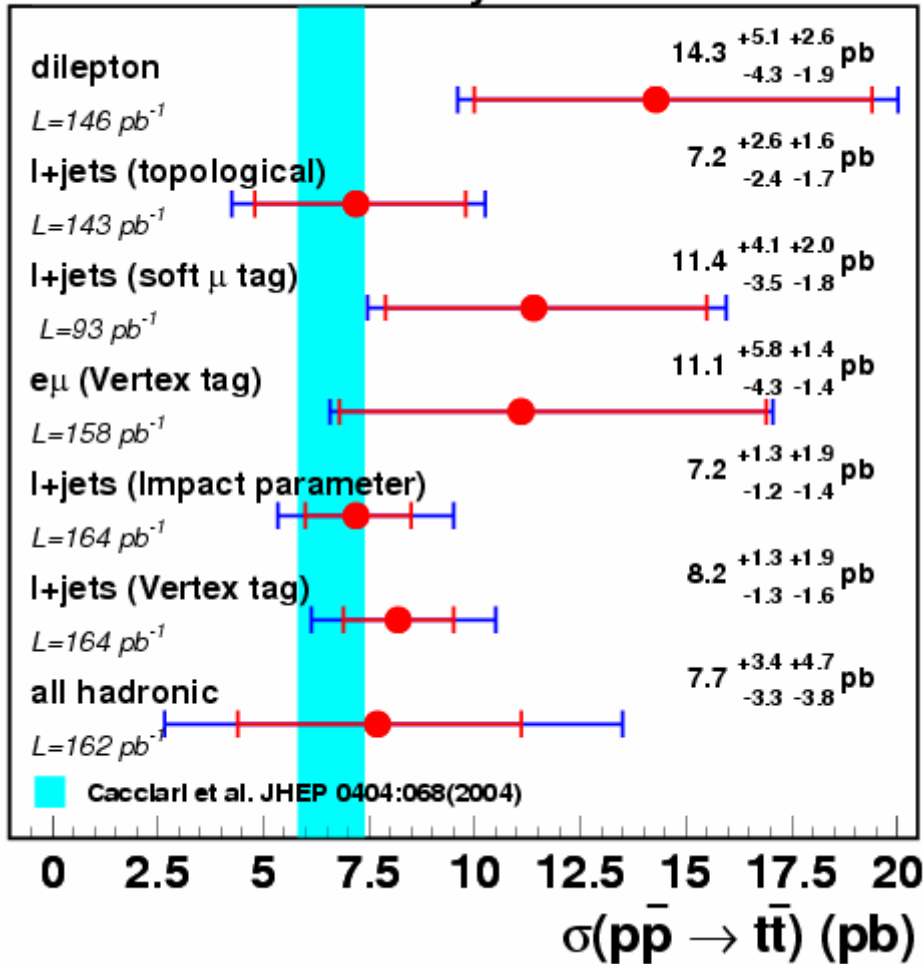
Faible sensibilité et analyse très difficile

Analyse essentiellement basée sur les données.

$$\sigma_{t\bar{t}} = 7.7^{+3.4}_{-3.3} \text{ (stat)} \text{ } ^{+4.7}_{-3.8} \text{ (sys)} \text{ pb}$$

Sections efficaces : résumé

DØ Run II Preliminary



- Mesures effectuées dans tous les canaux avec plusieurs stratégies
- Valeurs en accord avec le Modèle Standard
- encore dominées par la statistique

Propriétés du top

$$BR(t \rightarrow Wb) = BR(t \rightarrow Wq)$$

$$R = \frac{BR(t \rightarrow Wb)}{BR(t \rightarrow Wq)} = \frac{|V_{tb}|^2}{|V_{td}|^2 + |V_{ts}|^2 + |V_{tb}|^2}$$

- Dans le MS, $R \sim 1$: - $BR(t \rightarrow Wb) \sim 100\%$
 - CKM unitaire, avec 3 familles seulement
- Pour mesurer R indépendamment :
 - Sélectionner des evts $t\bar{t} \rightarrow l + j \text{ et } S$ (même sélection que pour $3/4t$)
 - Evaluer le nb d'evts de fond
 - utiliser le « taux d'étiquetage » :

$$\varepsilon_2 \sim (R\varepsilon_b)^2 \quad \text{"double tag"}$$

$$\varepsilon_1 \sim 2R\varepsilon_b(1-R\varepsilon_b) \quad \text{"single tag"}$$

$$\varepsilon_0 \sim (1-R\varepsilon_b)^2 \quad \text{"no tag"}$$

- Extraire la valeur la plus vraisemblable à l'aide d'un ajustement par maximisation d'une fonction de vraisemblance à 2 paramètres (R et $3/4t$) combinant les canaux ($e+jets$ et $\mu+jets$, 1 ou 2 jets identifiés)

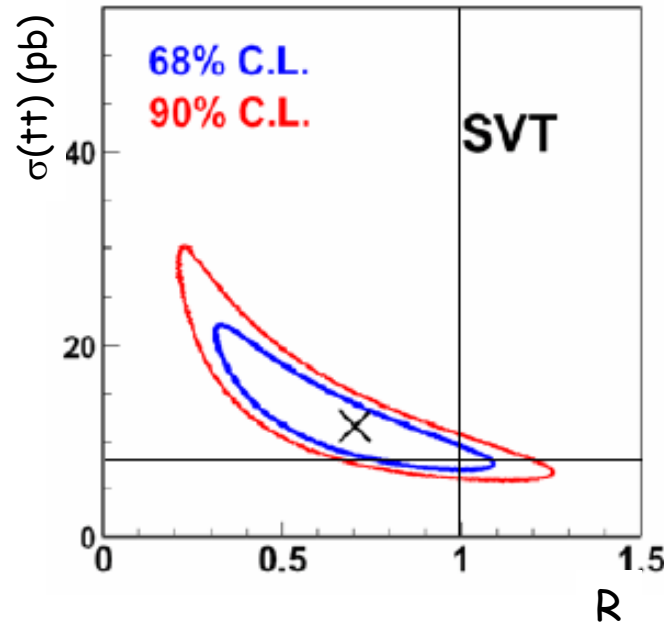
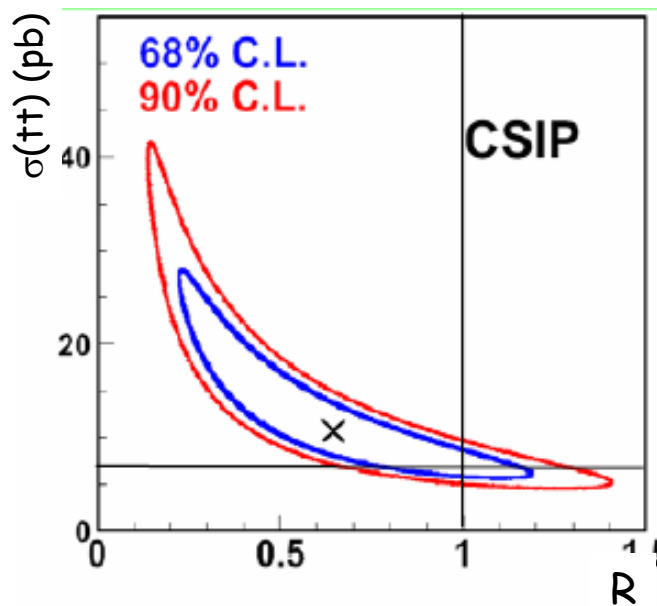
$$\mathcal{L} \sim \prod P(N_j^{obs} | N_j^{exp}) \quad N_j^{exp} = N_j^{fond} + f(\sigma_{t\bar{t}}, R, \varepsilon_j)$$

$$BR(t \rightarrow Wb) = BR(t \rightarrow Wq)$$

2 algorithmes d'identification des b utilisés :
 utilisant le paramètre d'impact (**CSIP**)
 utilisant les vertex secondaires (**SVT**)

$$R = 0.65^{+0.34}_{-0.30}(\text{stat})^{+0.17}_{-0.12}(\text{syst})$$

$$R = 0.70^{+0.27}_{-0.24}(\text{stat})^{+0.11}_{-0.10}(\text{syst})$$



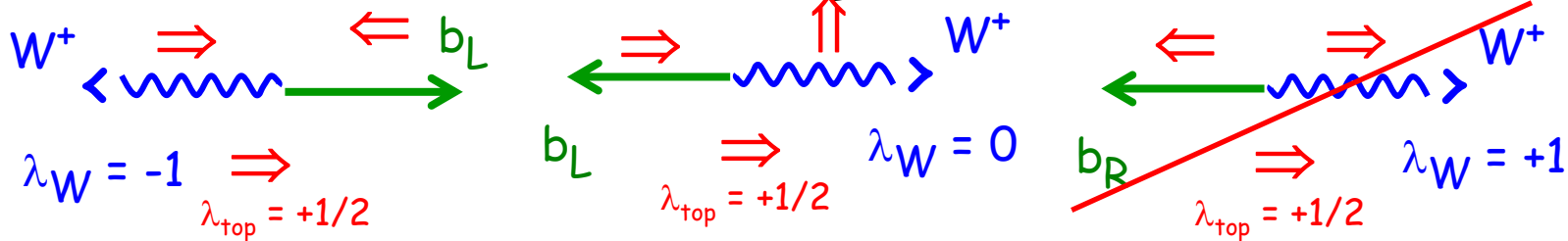
Permet une mesure
 indépendante de la
 section efficace en fixant
 $R = 1$

Test de la structure V-A du vertex tbW

Dans le modèle standard, $t \rightarrow bW^+$: $\bar{b} \gamma_\mu (1 - \gamma_5) t W^{+\mu}$

$m_b \approx 0$ i.e. le b est toujours gauche : b_L

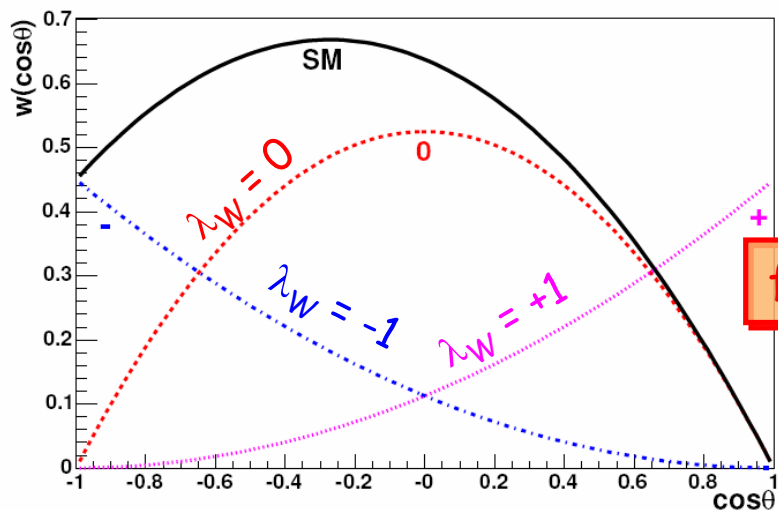
Configurations possibles ?



$$f_0 = \frac{m_t^2}{m_t^2 + M_W^2} \approx 70\% \quad \text{et} \quad f_{-1} \approx 30\% \quad \text{et} \quad f_1 \approx 0$$

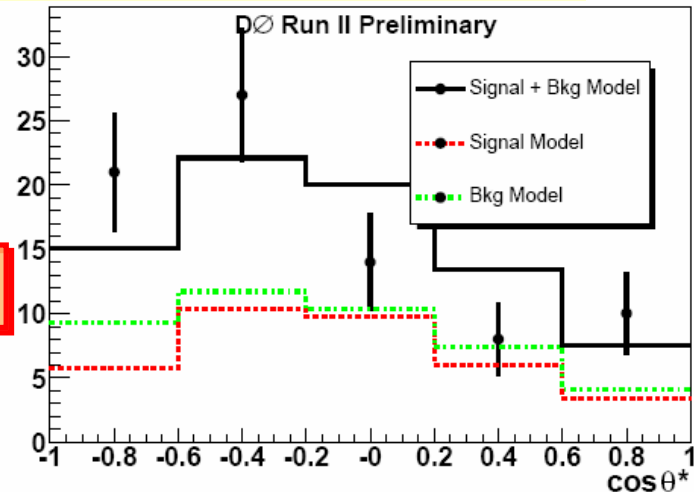


Une valeur différente de 0 pour f_1 serait le signe de la présence d'un terme V+A

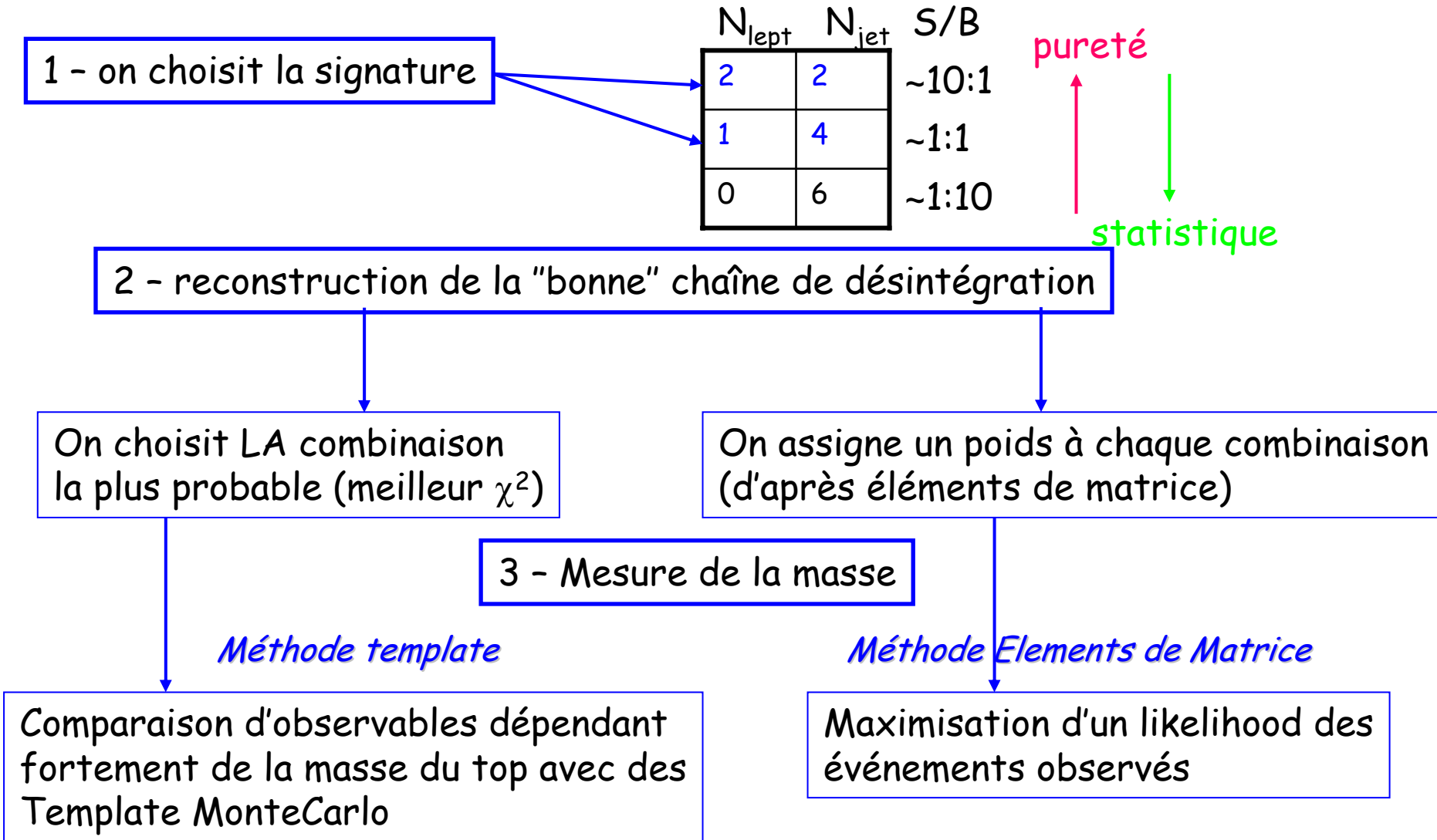


Maximisation d'une fonction de vraisemblance

$$f_1 < 0.24 \text{ @ } 90\% \text{ CL}$$

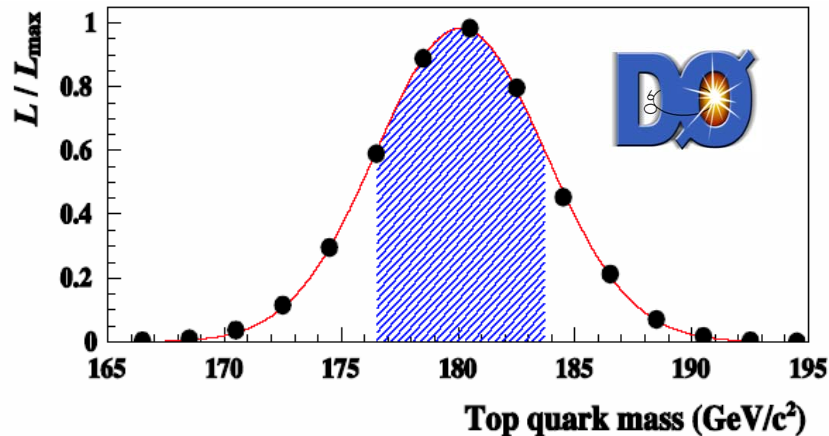


Masse du top



Masse du top (Run I): méthode des éléments de matrice

- DØ a publié une masse de top avec une nouvelle analyse des données du Run I ($\sim 125\text{pb}^{-1}$):
 - 22 événements ($l+jets$) sélectionnés sur les 91 de la première analyse.
 - On assigne une probabilité à chaque événement
 - Probabilité pour qu'un evt $t\bar{t}$ produise l'evt observé
 - Probabilité pour qu'un evt de fond produise l'evt observé
- } avec les éléments de matrice (LO)



$$M_{\text{top}} = 180.1 \pm 3.6(\text{stat.}) \pm 3.9(\text{syst})$$

Cette méthode permet de prendre en compte :

- tous les objets de l'événement avec leur résolution

→ les evts mal mesurés ont un faible poids

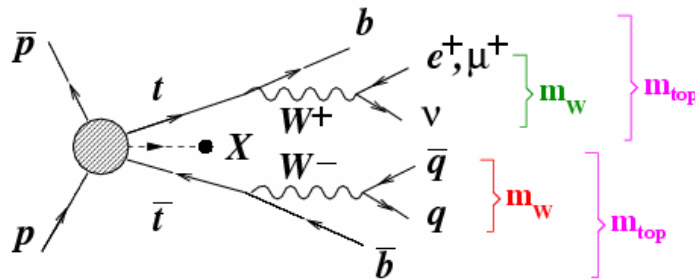
- toutes les combinaisons d'appariement des jets, choix du p_z du neutrino

→ diminution de l'erreur statistique

Méthode élément de matrice

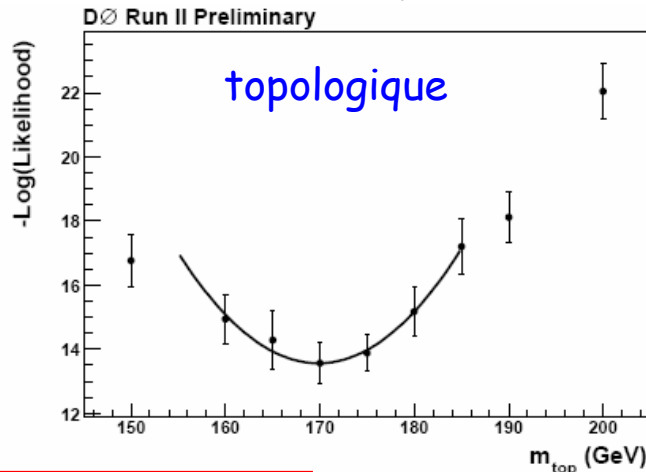
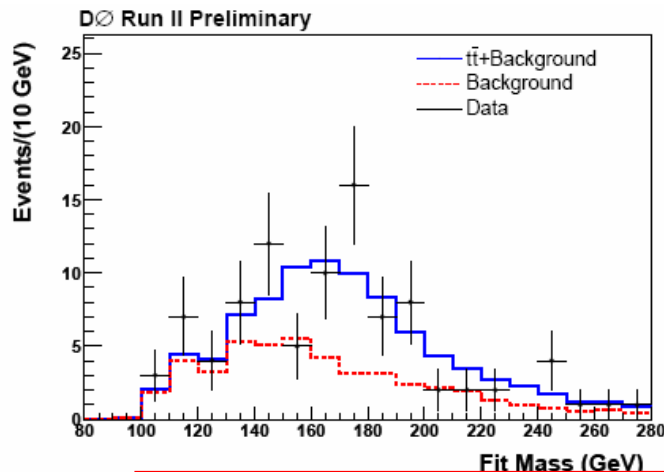
Masse du top l+jets (Run II) : méthode template

- sélection habituelle :
 - lepton énergétique (>20 GeV) + énergie transverse manquante (> 20 GeV) : W
 - 4 jets
 - 2 sélections finales :
 - discriminant topologique ($P_{\text{T}}^{\text{jets}} > 20$ GeV)
 - b-tagging ($P_{\text{T}}^{\text{jets}} > 15$ GeV)
- ajustement cinématique pour estimer la masse du top dans l'événement :
 - 12 permutations possibles (6 avec 1 jet de b identifié)
 - la masse de l'evt est la masse ajustée de la combinaison de plus petit χ^2



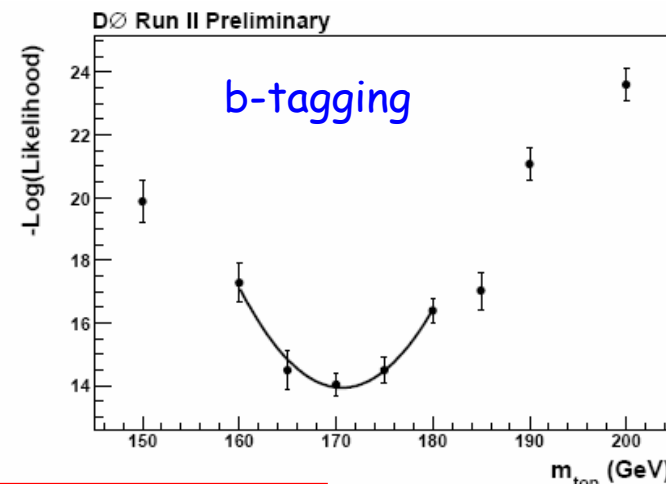
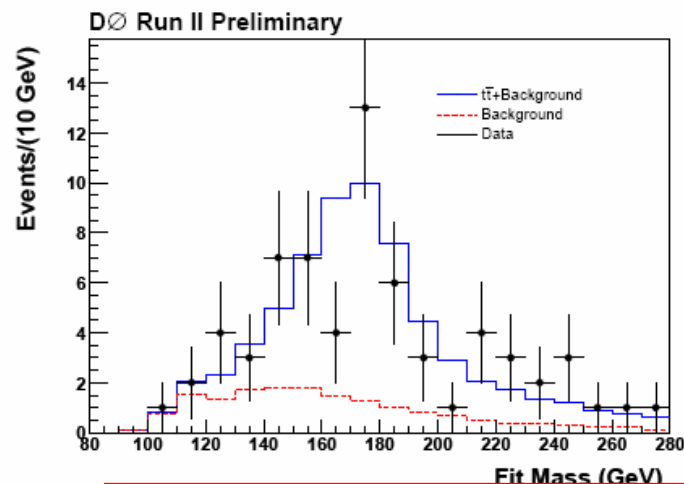
- On compare la distribution de la masse dans les données avec des distributions de fond et de signal simulés à différentes masses.

Masse du top l+jets (Run II) : méthode template



Topological Analysis		
	e+jets	μ +jets
data	49	45
$t\bar{t}$	27.5 ± 2.2	20.4 ± 0.9
Wjets	9.5 ± 0.45	22.0 ± 2.6
QCD	12 ± 0.55	2.6 ± 0.5

$$m_t = 169.9 \pm 5.8(\text{stat}) \pm 7.8(\text{syst}) \text{ GeV}$$

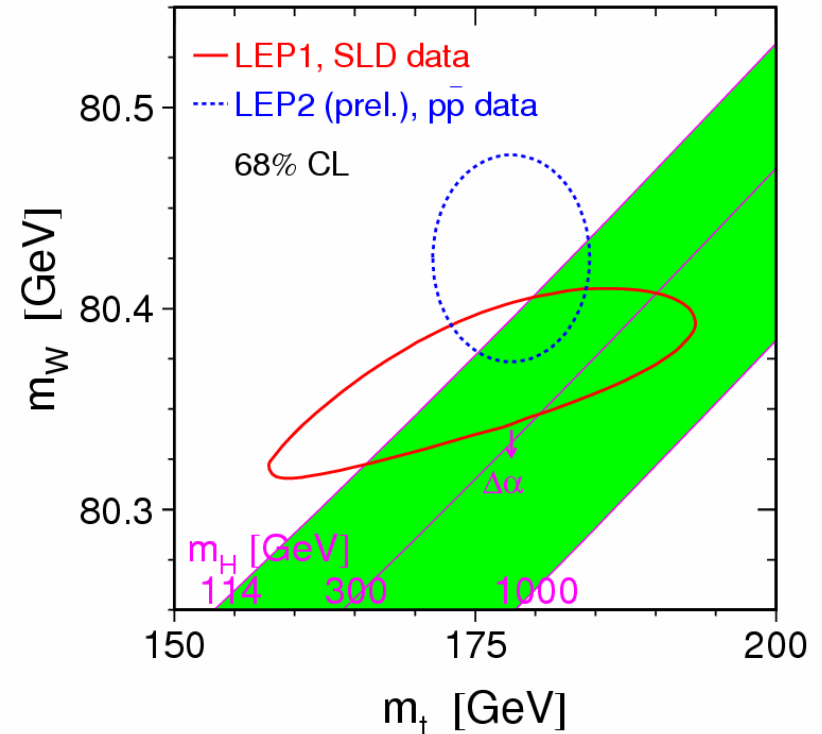
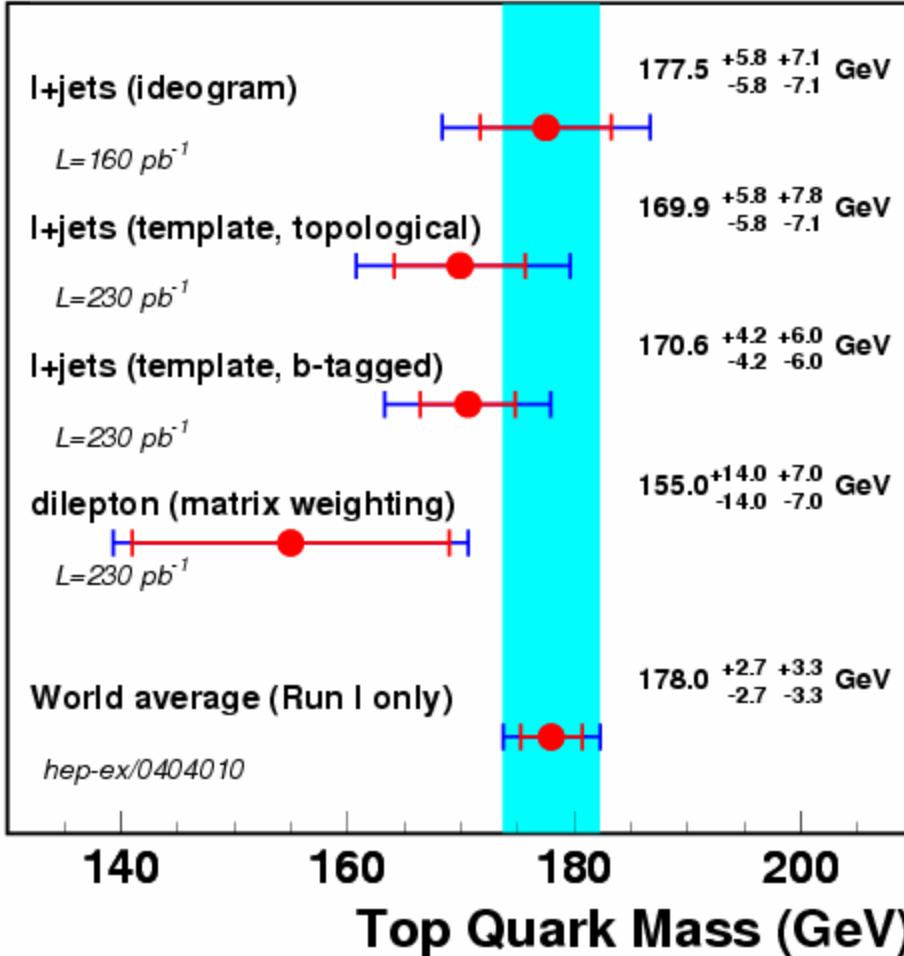


b-tagged Analysis		
	e+jets	μ +jets
data	42	27
$t\bar{t}$	30.5 ± 2.4	22.0 ± 1.75
Wjets	7.0 ± 0.6	4.3 ± 0.3
QCD	4.5 ± 0.4	0.7 ± 0.05

$$m_t = 170.6 \pm 4.2(\text{stat}) \pm 6.0(\text{syst}) \text{ GeV}$$

Masse du top : résumé

DØ Run II Preliminary



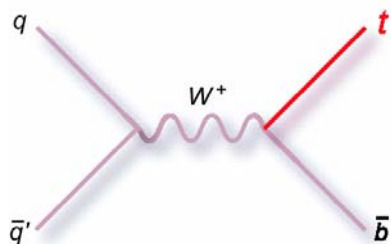
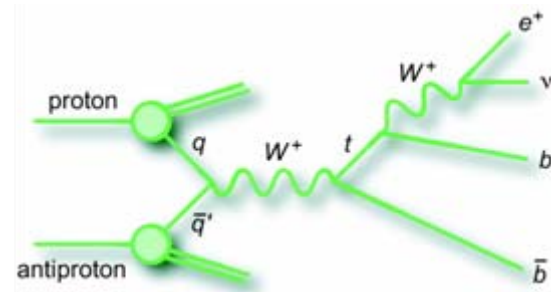
Nouvelle masse du top + développements théoriques :

$$M_H = 126_{-46}^{+73} \text{ GeV}$$

Le "single top"

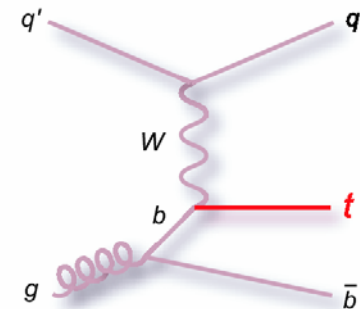
Le "single top"

- Autre mode de production du top dans le MS via son **couplage au W**. Contrairement à l'interaction forte, le top est produit seul dans l'état final -> **"single" top**
- Nombreux tests du Modèle Standard :
 - Couplage V-A
 - Mesure directe de $|V_{tb}|$
 - Polarisation du top
- Section efficace théorique ~ 3 pb (40% de la section efficace $t\bar{t}$)
- Pas vu au Run I (état final : $W+2$ jets \rightarrow bruit de fond important)
- Importance du b-tagging



$$\frac{3}{4} = 0.88\text{pb}$$

2 modes principaux de production au TeVatron



$$\frac{3}{4} = 1.98\text{pb}$$

Le "single top"

• État final :

- 1 lepton énergétique ($>15 \text{ GeV}$)
- $E_T > 15 \text{ GeV}$
- Au moins 2 jets
 - $P_{T^{\text{jet}1}} > 25 \text{ GeV}$
 - $P_{T^{\text{jet}n}} > 15 \text{ GeV}$

Voie s : 2 jets de b

Voie t : 1 jet de b + 1 jet

Bruits de fonds : W+jets (Wbb)
QCD : faux leptons
paires de tops

• 25 variables discriminantes ont été étudiées :

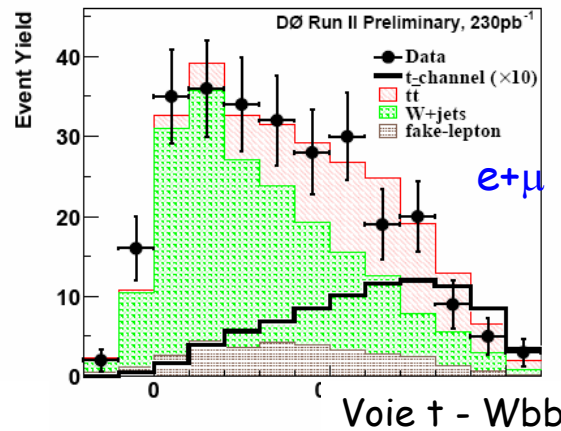
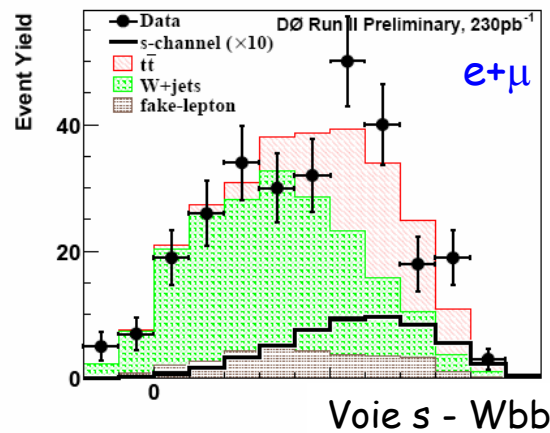
- variables cinématiques des objets
- variables cinématiques de l'evt
- variables angulaires

• Stratégie d'analyse :

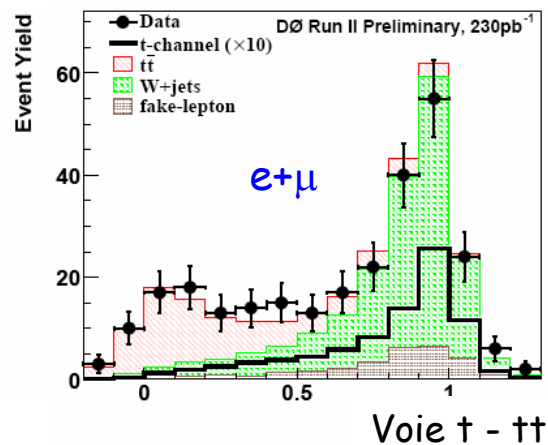
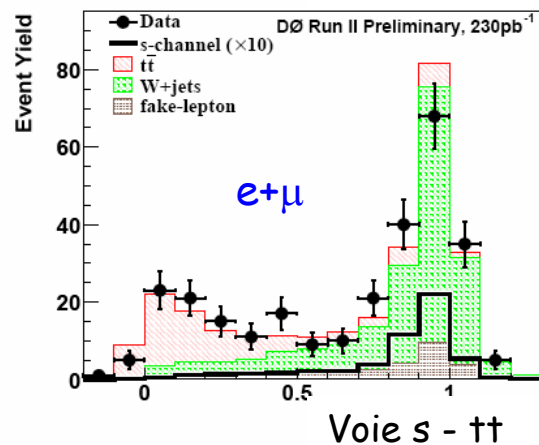
- appliquer un jeu de coupures sur les meilleures variables discriminantes
- utiliser des réseaux de neurones

Le "single top"

- construction de 8 réseaux de neurones différents :
 - 2 processus : voie s et voie t
 - 2 bruits de fonds : paires de tops et Wbb
 - 2 canaux d'analyse : électrons et muons



Meilleure séparation entre
single top et tt qu'entre
single top et Wbb



Bon accord données/prédictions

Le "single top"

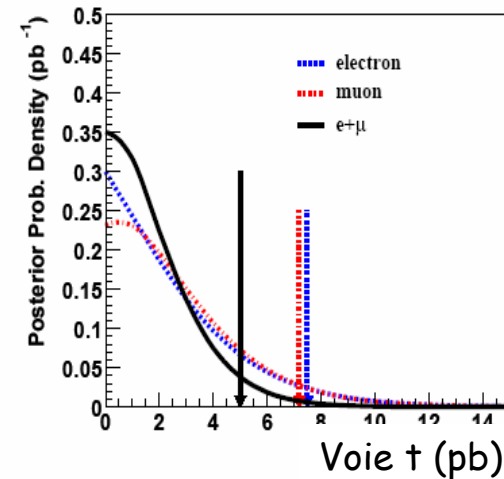
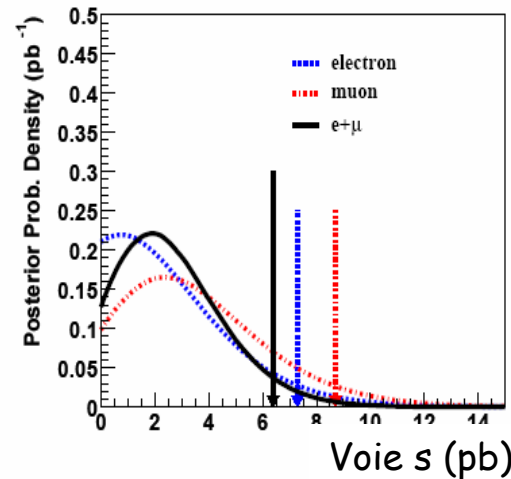
Les limites sont obtenues :

- par un **simple comptage** pour l'analyse avec coupures
- par un **ajustement** par maximisation d'une fonction de vraisemblance à 2 dimensions (sorties des réseaux de neurones tt et Wbb)

Analyse avec coupures

	s -channel	t -channel
tb	4.5 ± 1.0	3.2 ± 0.8
tqb	5.5 ± 1.2	7.0 ± 1.6
$t\bar{t}$	27.6 ± 7.6	55.9 ± 12.3
W +jets	102.9 ± 13.7	72.6 ± 9.7
Mis-ID'd lepton	17.2 ± 2.0	17.0 ± 2.0
Background sum	153.1 ± 24.5	148.7 ± 24.8
Observed events	152	148

Analyse avec NN



$$\frac{3}{4} < 10:6 \text{pb} (95\% \text{CL})$$

$$\frac{3}{4} < 11:3 \text{pb} (95\% \text{CL})$$

$$\frac{3}{4} < 6:4 \text{pb} (95\% \text{CL})$$

$$\frac{3}{4} < 5:0 \text{pb} (95\% \text{CL})$$

Conclusion

- Top particulier dans le MS. très massif → lien avec EWSB ?
- Mesure de sa masse importante pour contraindre la masse du Higgs
- Nombreux résultats de $D\emptyset$
 - Section efficace dans tous les canaux
 - Masses : Run I revisitée et nouvelles mesures Run II
 - Propriétés : hélicité du W , rapport d'embranchement
 - Single top : limites actuelles les plus contraignantes
- Résultats disponibles sur :
<http://www-d0.fnal.gov/Run2Physics/top/index.html>
- Aujourd'hui, le top est un signal. Demain, il sera un fond !