



# Mesure de la masse du quark top en dilepton

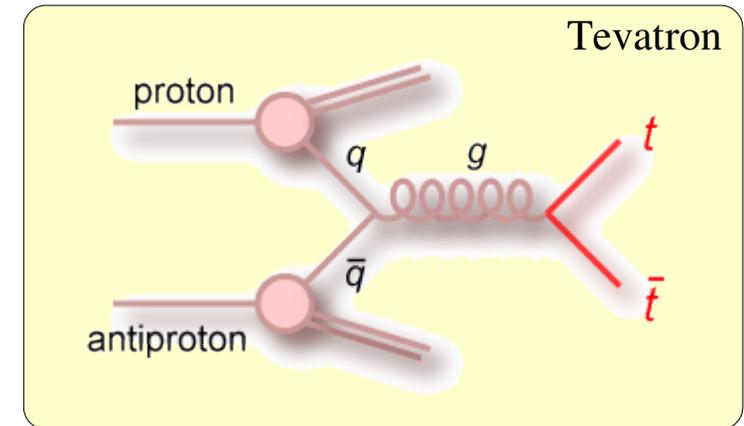
---

- La physique du quark top au LHC
  - ✓ Les différents canaux de désintégration
- ✓ Différentes méthodes de mesure de la masse dans le canal en dilepton
- La méthode des éléments de matrice
  - La sélection des événements



# Pourquoi la physique du quark top?

- c'est le seul quark qui se désintègre avant de s'hadroniser --> on a accès à la masse nue du quark
- masse très grande ~ échelle EWSB (quark top est-il lié à la brisure de cette symétrie?)
- Une mesure précise permet de mettre de contraintes sur la masse du Higgs
- Mesure de précision d'un paramètre fondamental de la physique du MS
- Outil important pour calibrer JES, b-tagging...

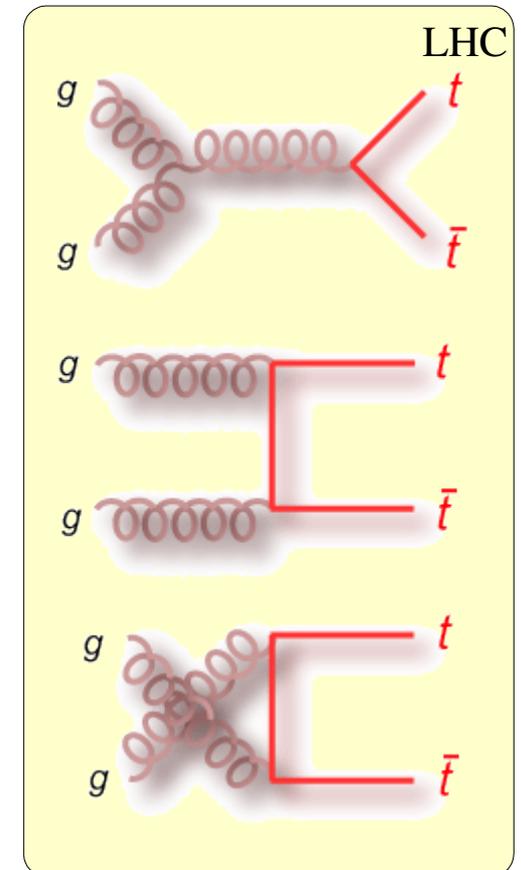


## processus de production $t\bar{t}$

@Tevatron:  $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t} \sim (85\%)$   $g\bar{g} \rightarrow t\bar{t} \sim (10\%)$

@LHC:  $g\bar{g} \rightarrow t\bar{t} \sim (90\%)$ ,  $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t} \sim (10\%)$

Dans les deux cas, le processus secondaire fait partie de l'erreur systématique





# Les canaux utilisés dans les différentes analyses

| Canal        | Caractéristiques                                  | B.R. | Bkg  |
|--------------|---|------|--|
| All hadronic | 6 jets a haut pT                                  | 45%  | Multi jet production                       |
| Lepton+jets  | 4 jets a haut pT<br>1 lepton a haut pT<br>Et miss | 30%  | W+jets<br>Multi jets avec faux leptons     |
| Dilepton     | 2 jets+2l+2ν<br>Et miss                           | 5%   | Z/γ*    Z-->ττ<br>W+jets avec faux leptons |

τ non considérés

Caractéristiques de ce canal:

- signal très propre --> haut rapport S/B, surtout si on demande 1μ et 1 e (pas de bdf Z/γ\*)
- facile à détecter: 2 leptons avec haut Pt et grande MET
- statistique plutôt faible
- impossibilité de reconstruire une masse invariante à cause des deux neutrinos

## Top Pair Decay Channels

|                 |               |           |          |               |            |
|-----------------|---------------|-----------|----------|---------------|------------|
| $\bar{c}s$      | electron+jets | muon+jets | tau+jets | all-hadronic  |            |
| $\bar{u}d$      |               |           |          |               |            |
| $\tau^- \tau^+$ |               |           |          |               |            |
| $\mu^- \mu^+$   | eμ            | μμ        | μτ       | muon+jets     |            |
| $e^- e^+$       | eē            | eμ        | eτ       | electron+jets |            |
| W decay         | $e^+$         | $\mu^+$   | $\tau^+$ | $u\bar{d}$    | $c\bar{s}$ |



# Méthodes pour extraire la masse du top en ce canal

- ✓ Méthode des éléments de matrice
- ✓ Méthode neutrino weighting

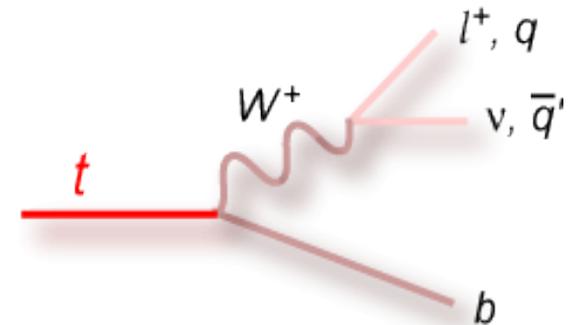
Tevatron  $1.0 \text{ fb}^{-1}$

$$\text{ME } m_t = 164.5 \pm 3.9(\text{stat}) \pm 3.9(\text{sys}) \text{ GeV}$$

$$\text{NW } m_t = 171 \pm 5.8(\text{stat}) \pm 5.5(\text{sys}) \text{ GeV}$$

## Caractéristiques communes:

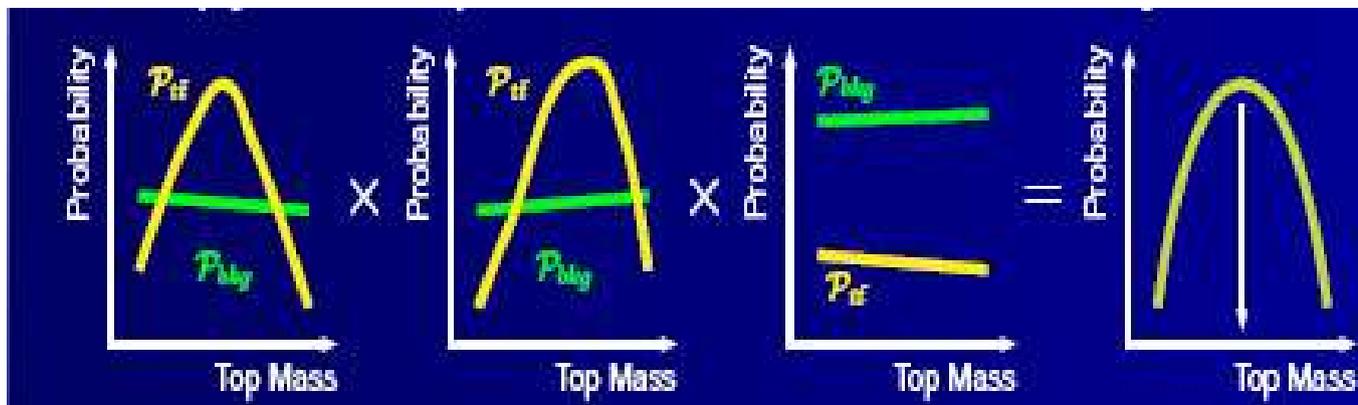
- ✓ mesurer une observable sensible à la masse du top
- ✓ calibrer les fonctions de transfert avec la simulation
- ✓ extraire la masse grâce au likelihood





# La méthode des éléments de matrice

- ✓ Cette méthode donne des bons résultats même avec peu de données --> très adaptée pour les premières données Atlas (dans le canal  $e\mu$  160 év à  $100 \text{ pb}^{-1}$ )
  - ✓ Elle ne nécessite pas une parfaite connaissance du MC
  - ✓ Cependant, elle demande beaucoup de CPU
- On calcule une densité de probabilité par événement pour le signal et le bruit de fond en fonction de la masse du top.
    - ✓ on fait une convolution de l'élément de matrice du processus avec les fonctions de résolution du détecteur
    - ✓ on intègre sur les quantités de l'espace des phases non mesurées
  - On multiplie les proba de chaque événement pour extraire la masse la plus probable.





# Méthode des éléments de matrice: la densité de probabilité

$$P(\mathbf{x}; M_t) = f_s P_s(\mathbf{x}; M_t) + (1 - f_s) P_{bkg}(\mathbf{x})$$

$$P_s(\mathbf{x}|M_t) = \frac{1}{\sigma(M_t)} \int d\Phi |M_{t\bar{t}}(q_i, p_i; M_t)|^2 W(p, x) f_{PDF}(q_1) f_{PDF}(q_2)$$

normalisation

phase space

élément de matrice

fonction de transfert

pdf

- espace des phases des quantités non mesurées:
  - impulsions des  $v$  et énergie des jets
- fonction de transfert: possibilité de reconstruire un objet d'énergie  $E$  issu d'un parton d'impulsion  $p$
- p.d.f.: probabilité qu'un proton contienne un parton d'impulsion  $q_i$
- élément de matrice calculé avec le program MadGraph



# Méthode des éléments matrice: intégration sur l'espace des phases

---

Pour utiliser des contraintes cinématiques (intervalle limité des masses des  $W$  et  $top$ ) et pour épargner de temps de calcul pendant l'intégration on exprime les impulsions de  $v$  en fonction des variable  $l$ ,  $W$  et  $t$  comme dans les eq. qui suivent

$$m_{t1}^2 = (p_1 + W_1)^2$$

$$m_{t2}^2 = (p_2 + W_2)^2$$

$$m_{W_1}^2 = (l_1 + \nu_1)^2$$

$$m_{W_2}^2 = (l_2 + \nu_2)^2$$

$$(p_1 + l_1 + \nu_1 + p_2 + l_2 + \nu_2)_x = p_x^{tt} = 0$$

$$(p_1 + l_1 + \nu_1 + p_2 + l_2 + \nu_2)_y = p_y^{tt} = 0$$

- réécrire sous forme d'une eq. de degré 4 du  $p_{vX}$
- possibilité d'avoir jusqu'à 4 solutions qu'on doit sommer
- calculer le jacobien de la transformation
- intégration sur les masses des  $W$  et  $t$  en utilisant l'algorithme VEGAS

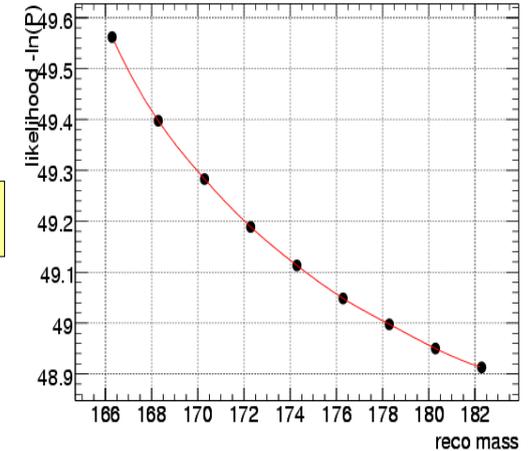
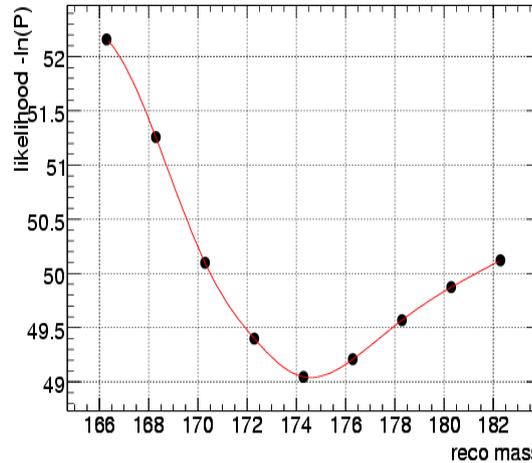


# Méthode des éléments de matrice: premiers résultats

- événements générés par MadGraph (signal pur, pas d'effets de détecteur)
- coupures standard utilisées (objects  $p_T > 20$  GeV),  $|\eta| < 2.5$
- pdf "cteq611" déjà incluses
- top quark pole masse à 174.3 GeV

- On suppose connaître l'énergie de jets (intégration et fonctions de transfert pas encore implémentées)
- Likelihood ( $L = -\ln(P_s)$ ) calculé à des masses différentes
- ajustement des points avec une Spline
- somme du likelihood de 30 événements

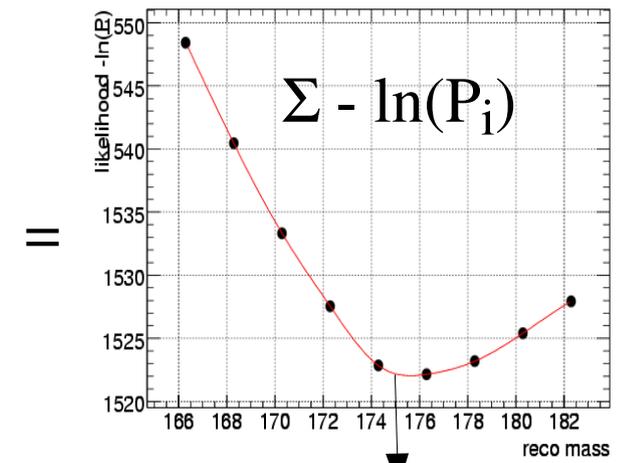
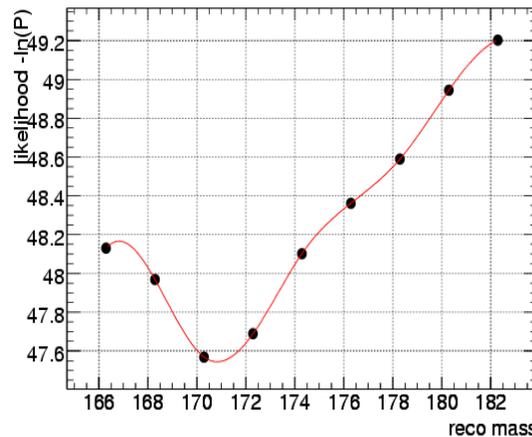
Likelihood pour quelques ev.



+

+

+...+



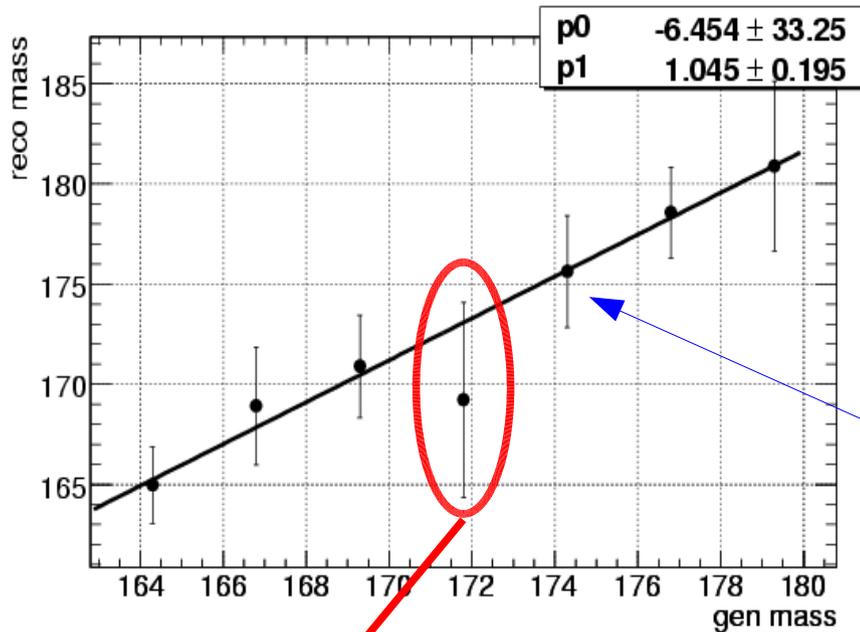
=

La masse reconstruite est le minimum du fit

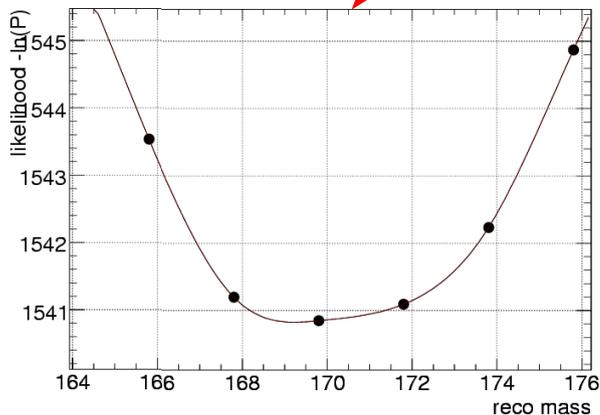


# Méthode des éléments de matrice: premiers résultats

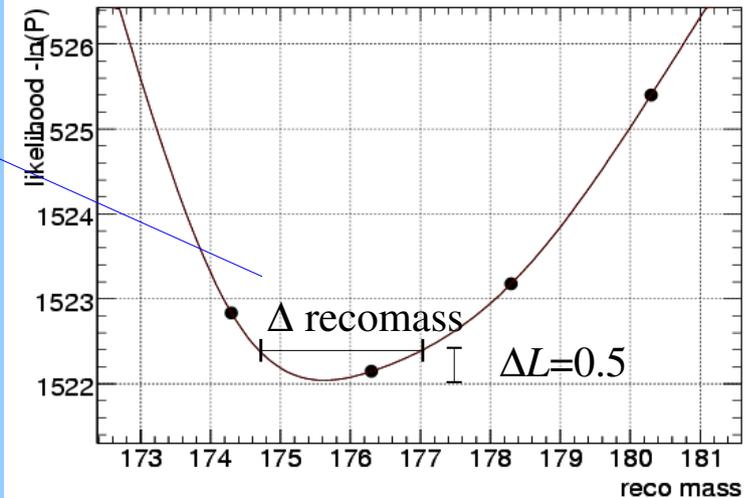
Premier test de la fiabilité (et stabilité) de notre analyse:  
masse reconstruite en fonction de masse générée



- on observe une bonne linéarité (sauf le point avec une masse générée de 171.8 GeV)
- la pente est  $1.045 \pm 0.195$  très encourageant...



Pour un fit plus précis on devrait augmenter le nombre des masses pour lesquelles on calcule le likelihood.

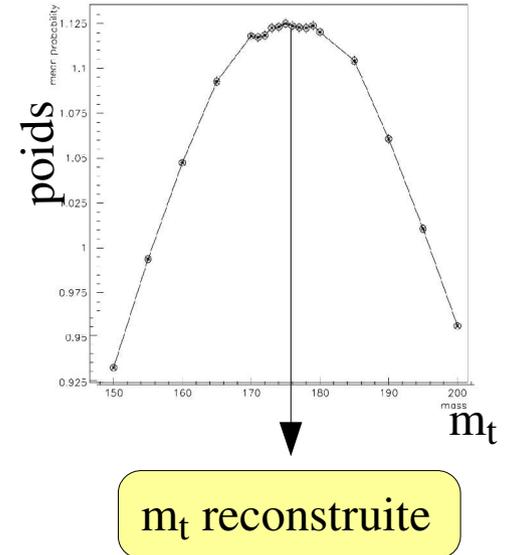


Erreurs extraites, pour l'instant, du likelihood (à 0.5 du minimum)



# Neutrino weighting

- On obtient le même système de 6 équations basées sur des lois de conservation cinématiques
- Pour chaque solution donnée par ces équations on calcule leur poids en utilisant de distributions MC ( $\cos\theta_t^*$ ,  $E_\nu$ ,  $E_{\nu\text{bar}}$ )
- On garde la solution avec le poids le plus grand
- Pour chaque valeur de  $m_t$  on calcule le poids moyen sur tous les événements
- La  $m_t$  reconstruite correspond au poids moyen le plus grand



Forte dépendance du MC mais quantité mineure de CPU demandée  
--> méthode optimale quand le MC sera bien testé



# La sélection des événements

Samples utilisés pour signal et bruit de fond

Générés et reconstruits avec rel 12.0.6

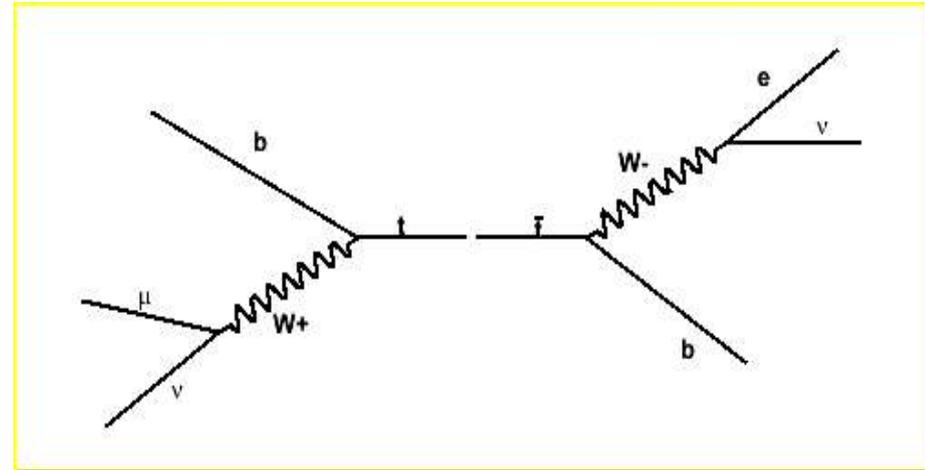
✓  $t\bar{t}$  signal DSN 5200

✓  $t\bar{t} \rightarrow l + \text{jet}$  bdf: DSN 5200

✓  $W^+W^- \rightarrow ll$  bdf: DSN 5922... 5929

Générés avec rel 11 et reconstruits avec 12

✓  $Z \rightarrow \tau\tau$  bdf: DNS 5146



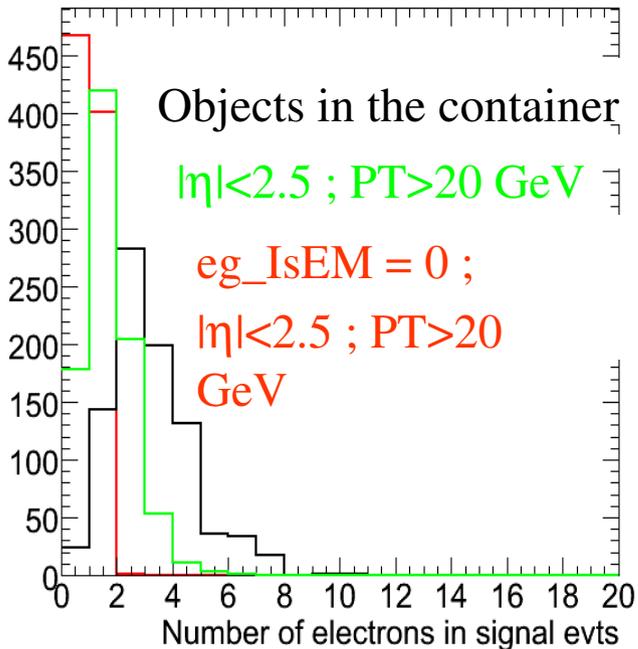
La base de notre sélection est:  
1 électron, 1 muon,  $\geq 2$  jets  
Énergie transverse élevée

Rq: Tous les plots qui suivent sont normalisés à  $100 \text{ pb}^{-1}$  de données



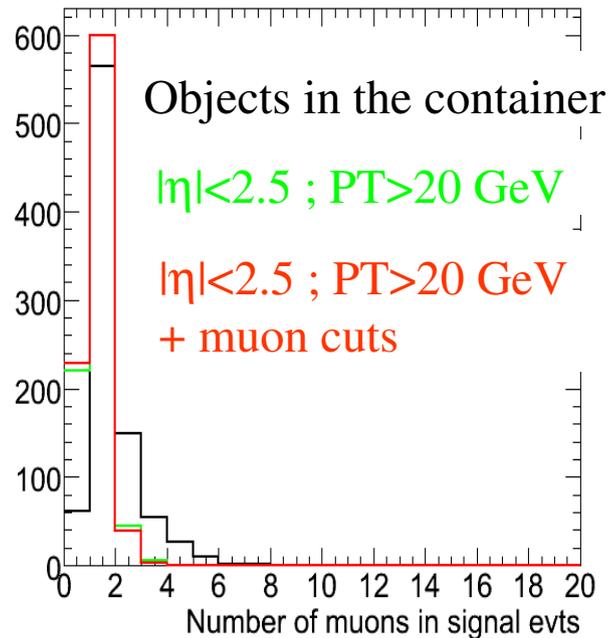
# Sélection des événements

## Électrons



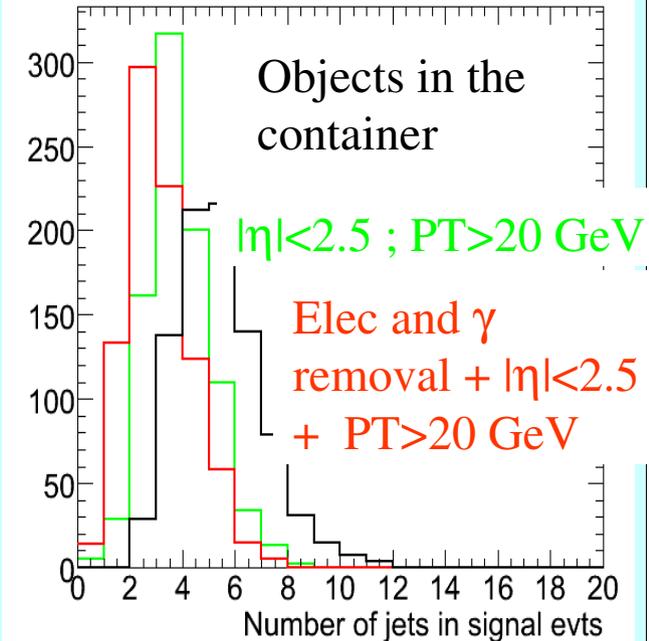
✓author==AuthorEgamma  
✓isEm==0

## Muons



✓IsCombinedMuon  
✓MatchChi2OverDoF < 30  
✓FitChi2OverDoF < 30

## Jets

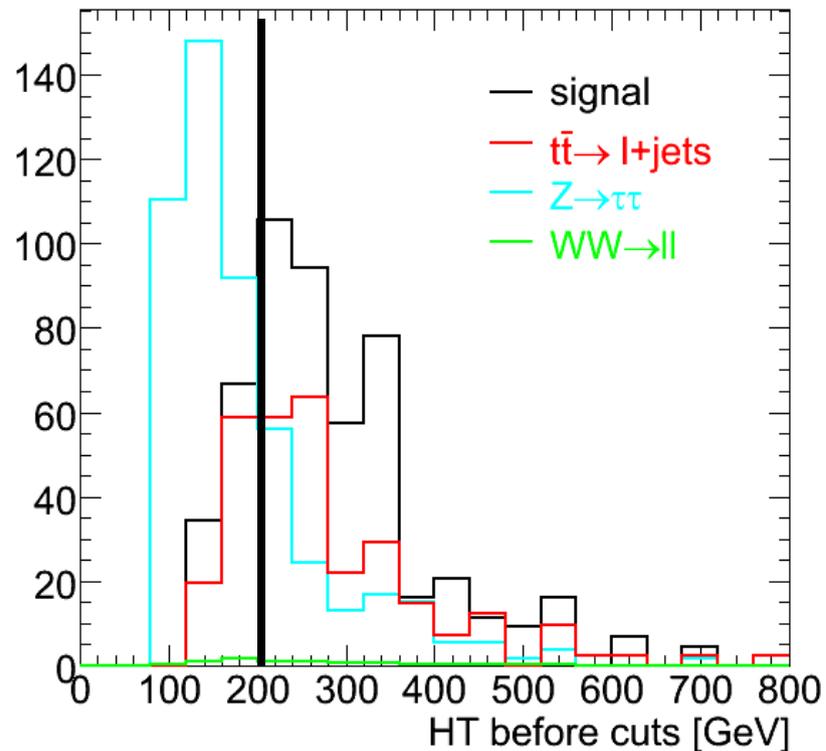


Matching entre jets et élec+ $\gamma$  containers. Si un jet match un  $e^-$  ou un  $\gamma$  et  $isEm==0$  --> le jet ne sera pas utilisé



# Coupure HT

- ✓ Première sélection: 1  $e$ , 1  $\mu$ , jets  $\geq 2$ , charges opposées pour les leptons
- ✓  $HT = \Sigma P_T$  (2 leptons + 2 leading jets)
- ✓ HT : Somme scalaire, représente la quantité d'énergie de l'événement



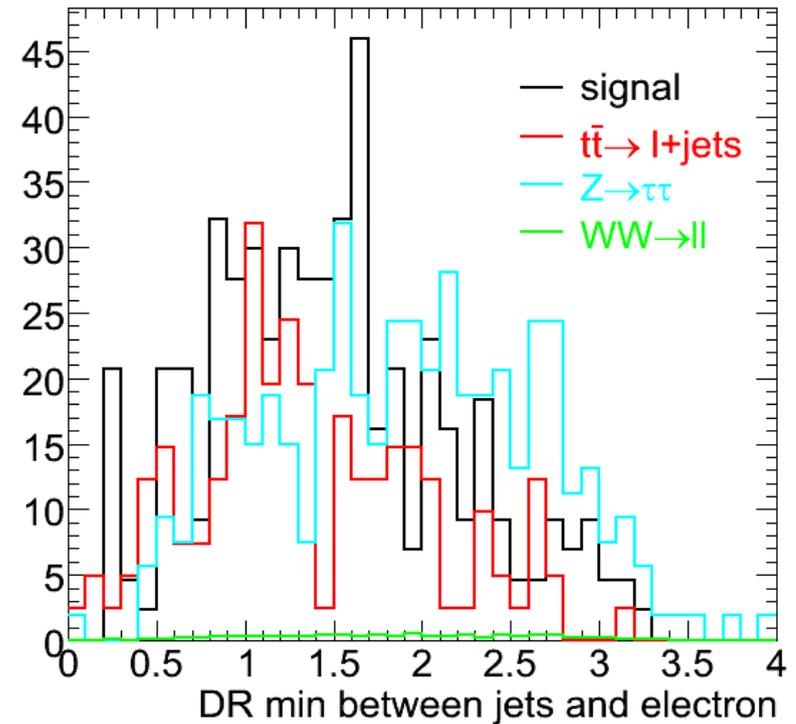
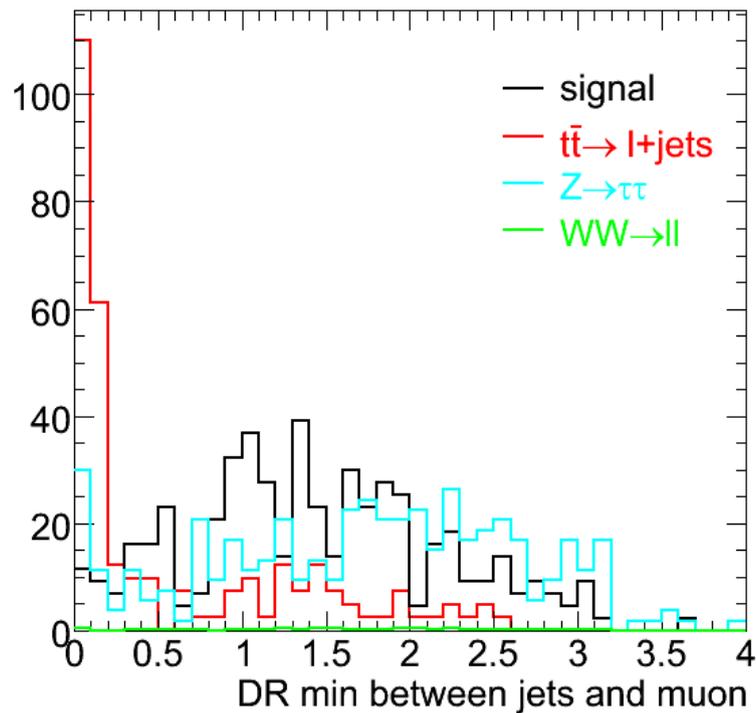
Cut :  $HT > 210$  GeV

$t\bar{t}$  --> l+jet ne peut pas être rejeté en utilisant HT. Pour cela on utilisera l'isolation des leptons



# Coupure sur l'isolation des leptons

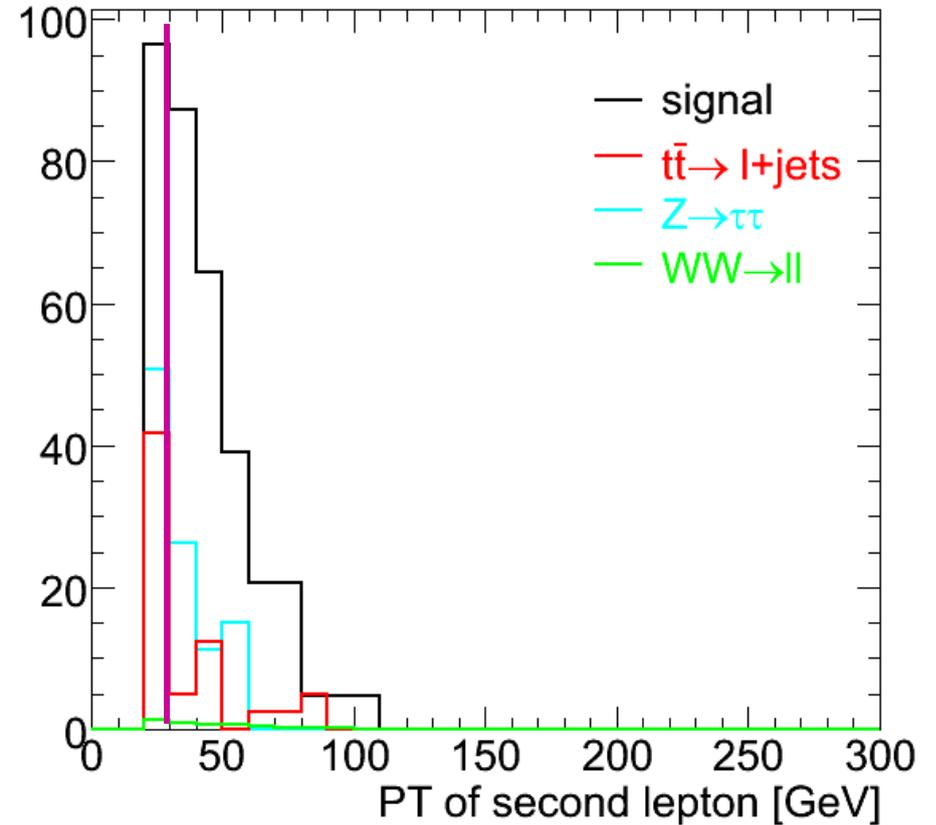
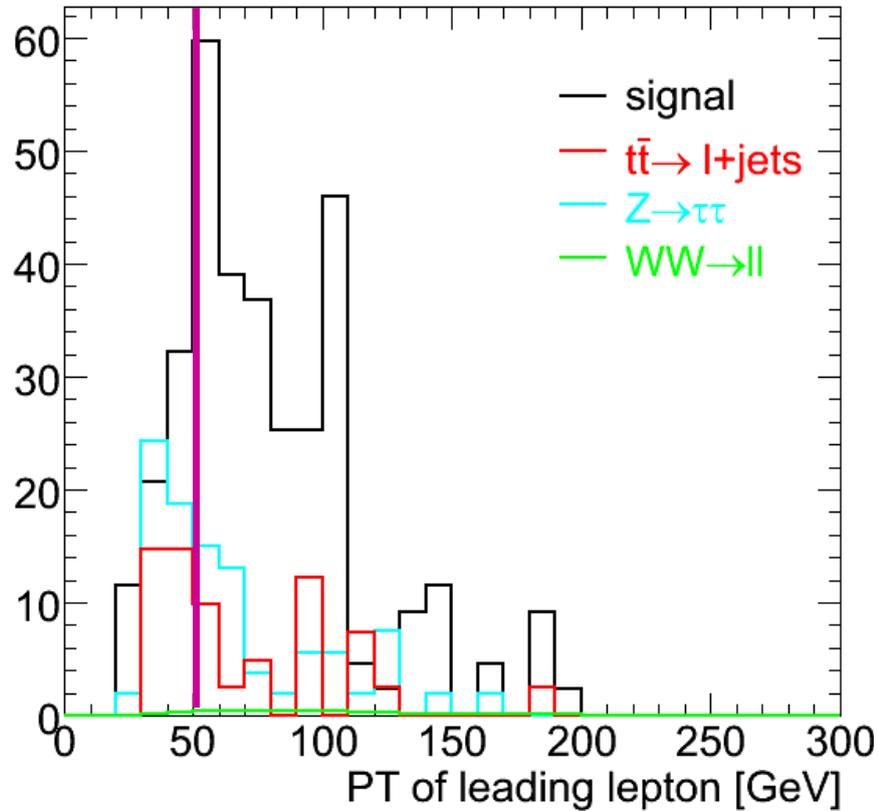
Distance (en  $\eta$  et  $\phi$ ) minimale entre électron et muon sélectionnés et les jets



On ne garde que les événements pour lesquels on a  $\Delta R_{min} > 0.4$



# PT des leptons après coupure sur HT et isolation



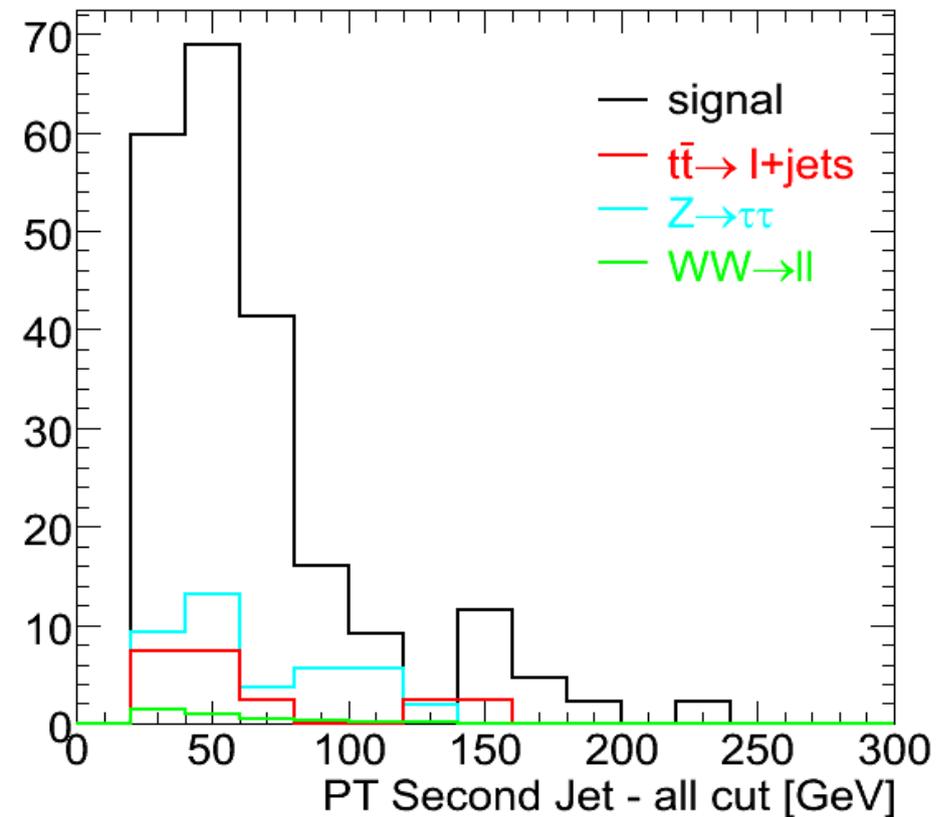
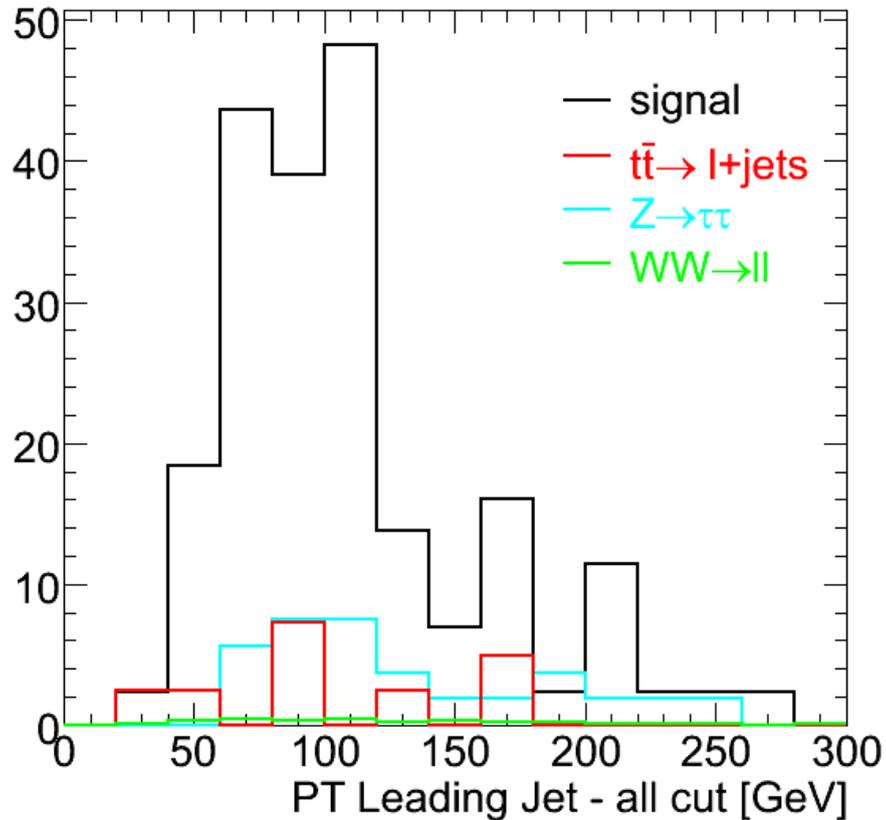
Coupure sur les leptons :

PT > 50 GeV pour le leading lepton

PT > 30 GeV pour le second lepton



## PT des jets après coupures sur HT et leptons



Après avoir implémenté les coupures sur leptons et HT, toute coupure supplémentaire sur les jets n'améliore pas le rapport S/B



## Effacité et S/B après les différentes coupures

| <b>Release 12</b>                            | <b>signal efficiency</b>               | <b>S/B<br/>ttbar bkg</b> | <b>S/B<br/>Z <math>\tau\tau</math></b> | <b>S/B<br/>WW ll</b> | <b>Total S/B</b> |
|--|--|--------------------------|--|----------------------|------------------|
| 1 e, 1 $\mu$ , jets $\geq 2$ ,<br>opp.charge | $\epsilon = 26.0 \%$                   | 1.7                      | 1.0                                    | 59.2                 | 0.6              |
| Lepton isolation                             | $\epsilon = 22.6 \%$                   | 4.1                      | 1.0                                    | 57.8                 | 0.8              |
| PT lepton cut                                | $\epsilon = 12.5 \%$                   | 8.5                      | 4.2                                    | 57.6                 | 2.7              |
| HT   | <b><math>\epsilon = 10.6 \%</math></b> | <b>10.8</b>              | <b>5.4</b>                             | <b>62.8</b>          | <b>3.4</b>       |



# Conclusions et “to do list” 1

---

La physique du top est un domaine d'étude fondamental

- ✓ contraintes sur la masse de l'Higgs
- ✓ avec les premières données, un excellent outil de calibration de JES et b-tagging

Le canal en dileptons présente un signal très propre mais une statistique plutôt faible

Deux méthodes pour reconstruire la masse en ce canal

- ✓ Neutrino weighting: sera la méthode dominante quand on aura une bonne connaissance du MC
- ✓ Élément de matrice: elle demande beaucoup de CPU mais ne nécessite pas une parfaite connaissance du MC



## Conclusions et “to do list” 2

---

Pour ce qui concerne notre analyse:

- Sélection des événements

- ✓ Athena 12.0.6 utilisée
- ✓  $S/B=3.4$  (1.5 avec rel 11 à cause d'une moins bonne identification des électrons)
- ✓  $\epsilon= 10.6\%$

- Méthode des élément de matrice pour la reconstruction de la masse:

- ✓ en utilisant des données du signal et sans effets du détecteur, notre analyse donne des bonnes valeurs pour la masse reconstruite
- ✓ quand on varie la “pole mass” du quark top on observe une bonne linéarité avec une pente de 1

- A faire:

- ✓ intégration sur l'énergie des jets
- ✓ implémentation de la fonction de transfert et JES qui seront les sources principales de l'erreur systematique





# Efficacité et S/B après les différentes coupures

| <b>Release 12</b>                         | <b>signal efficiency</b>               | <b>S/B ttbar bkg</b> | <b>S/B Z <math>\tau\tau</math></b> | <b>S/B WW ll</b> | <b>Total S/B</b> |
|---|--|----------------------|------------------------------------|------------------|------------------|
| 1 e, 1 $\mu$ , jets $\geq 2$ , opp.charge | $\epsilon = 26.0 \%$                   | 1.7                  | 1.0                                | 59.2             | 0.6              |
| Lepton isolation                          | $\epsilon = 22.6 \%$                   | 4.1                  | 1.0                                | 57.8             | 0.8              |
| PT lepton cut                             | $\epsilon = 12.5 \%$                   | 8.5                  | 4.2                                | 57.6             | 2.7              |
| HT  | <b><math>\epsilon = 10.6 \%</math></b> | <b>10.8</b>          | <b>5.4</b>                         | <b>62.8</b>      | <b>3.4</b>       |

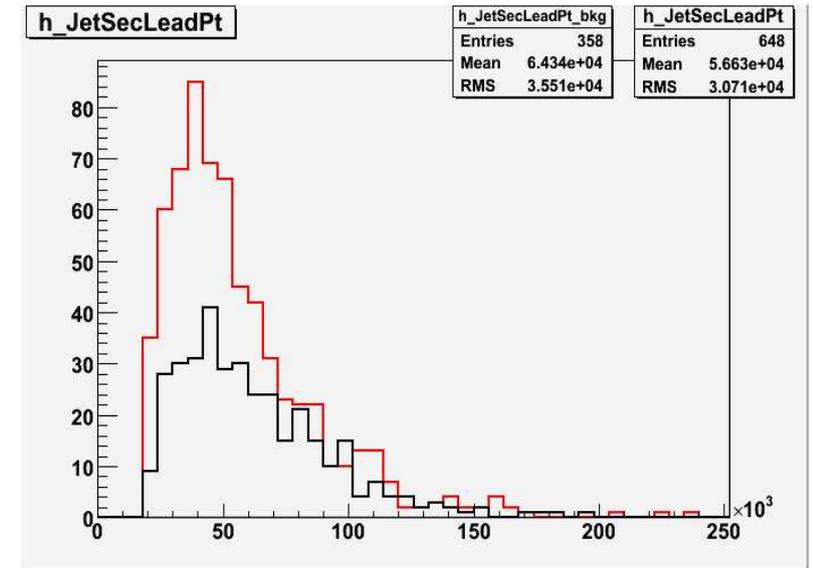
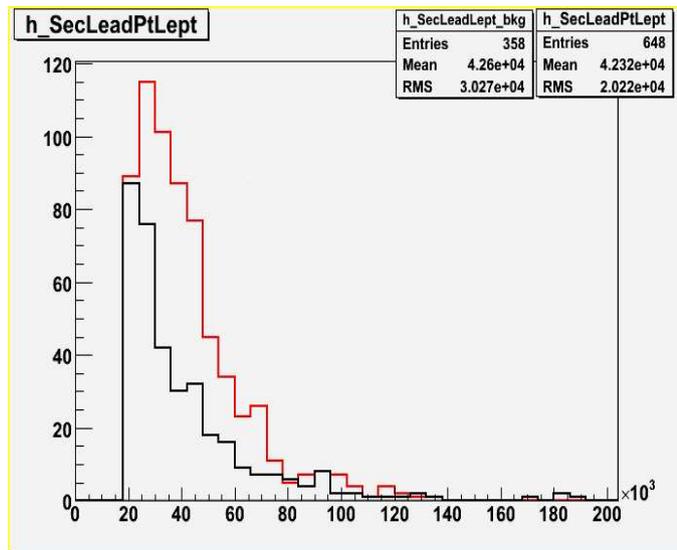
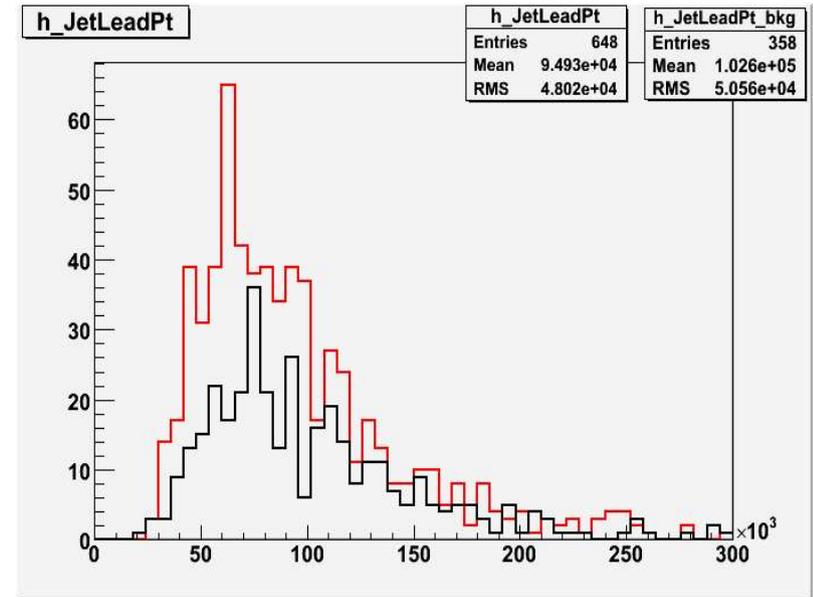
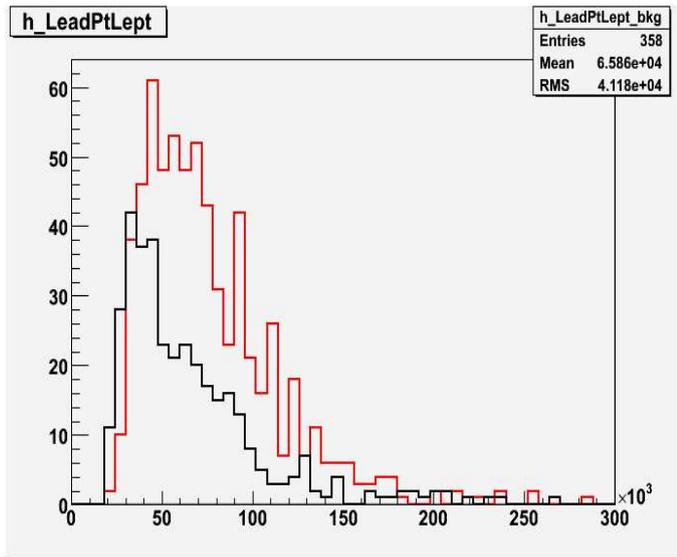
Moins de faux électrons dans la rel. 12 => mineur bdf tt-->l+jet

Rapport S/B amélioré dans la rel 12

| <b>Release 11</b>                         | <b>signal efficiency</b>               | <b>S/B ttbar bkg</b> | <b>S/B Z <math>\tau\tau</math></b> | <b>S/B WW ll</b> | <b>Total S/B</b> |
|---|--|----------------------|------------------------------------|------------------|------------------|
| 1 e, 1 $\mu$ , jets $\geq 2$ , opp.charge | $\epsilon = 30.0 \%$                   | 0.28                 | 0.6                                | 65               | 0.2              |
| Lepton isolation and PT cut               | $\epsilon = 13.7 \%$                   | 2.5                  | 3.5                                | 72               | 1.4              |
| HT  | <b><math>\epsilon = 11.8 \%</math></b> | <b>2.4</b>           | <b>4.2</b>                         | <b>80</b>        | <b>1.5</b>       |



# Selection sur leading lepton et leading jet

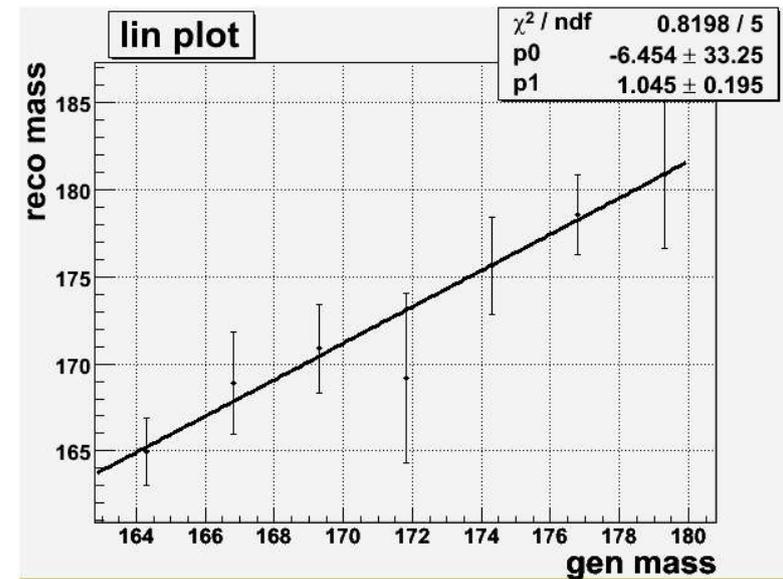
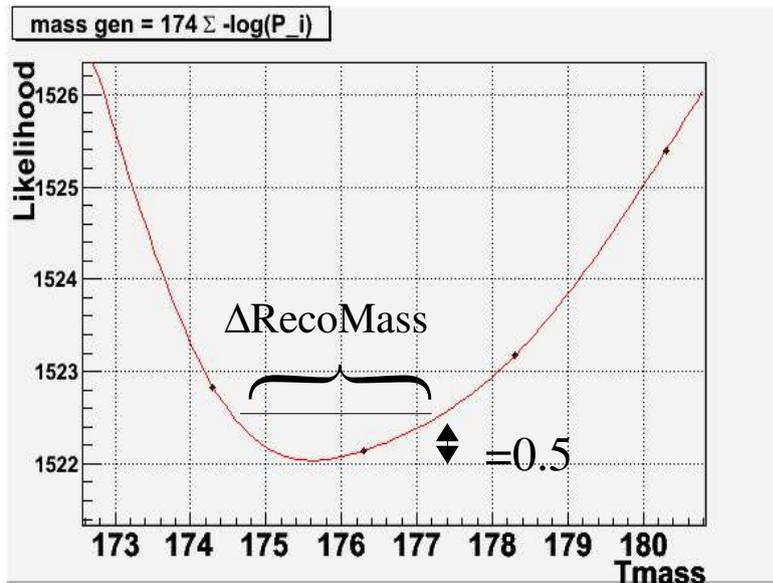




# Methode de la matrice: premiers resultats

Test de la chaine d'analyse:

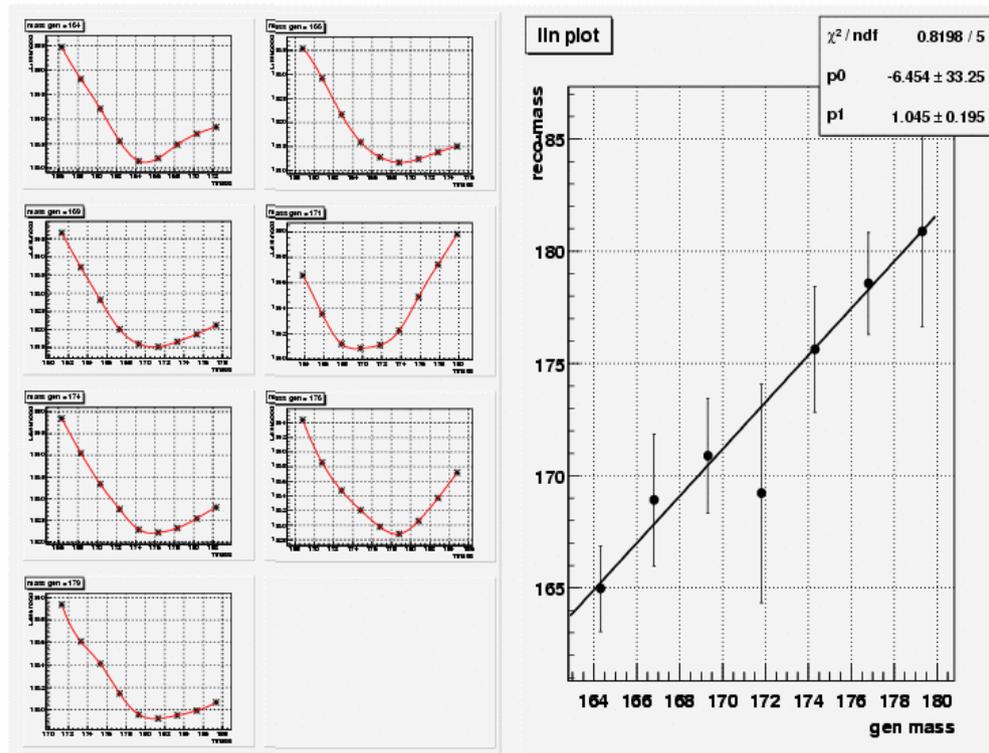
- la valeur minimale de l'interpolation de nosa points est notre masse reconstruite
- masse genereee Vs. masse reconstruite
- erreur sur le likelihood





# Methode de la matrice: premiers resultats

plot likelihood et linearity plot

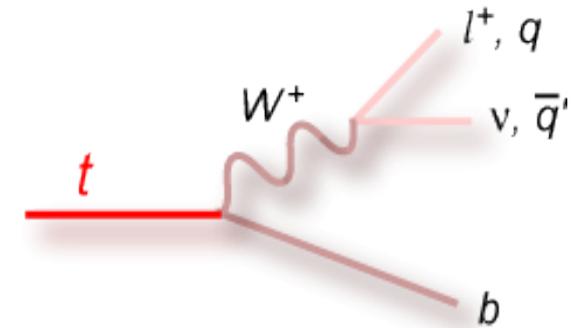




# Methodes pour extraire la masse du top en ce canal

Caracteristiques communes:

- ✓ mesurer une observable sensible a la masse du top
  - ✓ lier aux partons les objets que l'on observe
  - ✓ calibrer les fonctions de transfert avec la simulation
  - ✓ extraire la masse grace au likelihood
- templates methodes --> neutrino weighting
    - On obtient un set de 6 equations basees sur des lois de conservation cinematiques
    - Ces equations donnent plus qu'une solution: on calcule leur poids en utilisant de distributions MC (cosk, En, Enbar)
    - On garde la solution avec le poids le plus grand
    - Pour chaque valeur de  $m_t$  on calcule le poids moyen sur tous les evenements
    - La  $m_t$  reconstruite corresponde au poids moyen le plus grand



Tevatron

ME  $m_t = 164.5 \pm 3.9(stat) \pm 3.9(sys) GeV$

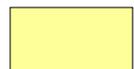
NW  $m_t = 171 \pm 5.8(stat) \pm 5.5(sys) GeV$

LHC prevision?????



# differences entre selection avec v11 et v12 (J. Biteau, S. Trincaz)

| release              | B.R  |            | first sel | lept pT | lept DR | HT    | charge |
|----------------------|------|------------|-----------|---------|---------|-------|--------|
| rel 11               | 4.43 | e cut      | 29.96     | 16.3    | 13.66   | 11.8  | -      |
|                      |      | S/B ttbar  | 0.28      | -       | 2.48    | 2.37  | -      |
|                      |      | S/B Z->tt  | 0.62      | -       | 3.48    | 4.2   | -      |
|                      |      | S/B WW->ll | 65        | -       | 72      | 80    | -      |
|                      |      | S/B tot    | 0.19      | -       | 1.42    | 1.49  | -      |
| rel 12<br>avec poids |      | e cut      | 25.98     | 13.9    | 12.64   | 10.69 | 10.57  |
|                      |      | S/B ttbar  | 1.02      | 2.07    | 9.39    | 12.48 | 10.8   |
|                      |      | S/B Z->tt  | 1         | 3.91    | 4.22    | 5.43  | 5.37   |
|                      |      | S/B WW->ll | 58.51     | 56.12   | 57.81   | 63.07 | 62.84  |
|                      |      | S/B tot    | 0.5       | 1.32    | 2.77    | 3.57  | 3.39   |

 Bruit de fond dominant

 Rapport S/B global



---

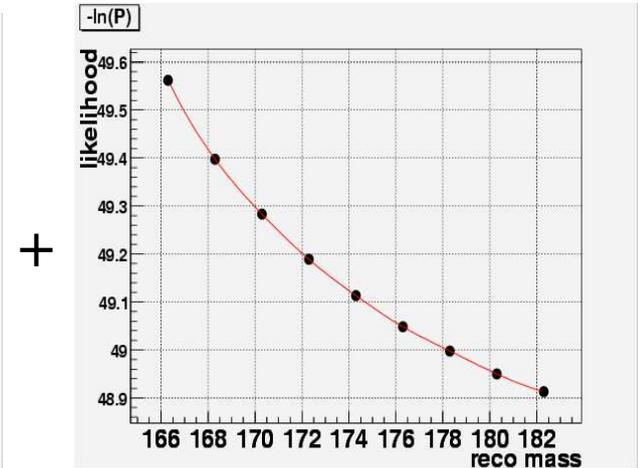
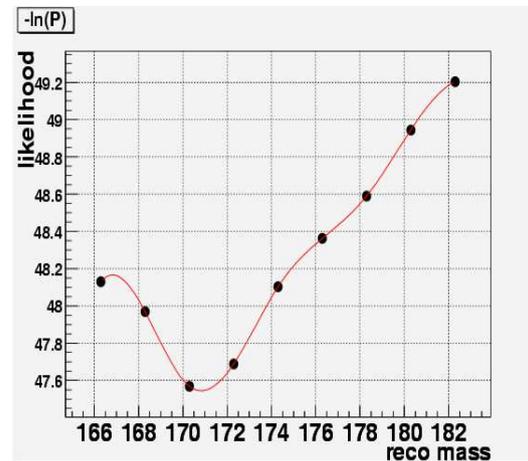
useful figures or images

$$P(\mathbf{x}|M_t) = P_s(\mathbf{x}|M_t)p_s(M_t) + \sum_i P_{bi}(\mathbf{x})p_{bi}$$



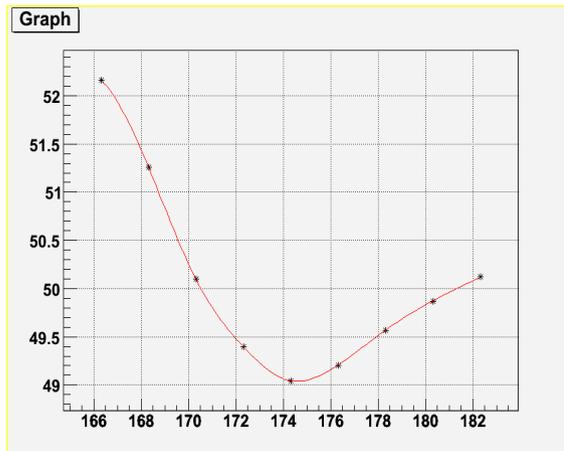
# La methode de la matrice: premiers resultats

- ✓ Evenements generes par MadGraph (que du signal, pas d'effets du detecteur)
- ✓ “Pole mass” du quark top a 174.3 GeV pour les evenements generes
- ✓ On fait le plot du likelihood:  $L = -\ln P$  en fonction de  $M_t$  (chaque 2 GeV)

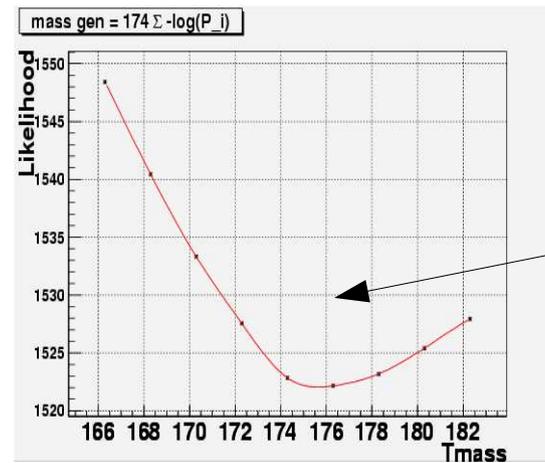


+

+ ... +



=



somme du  $-\ln(P)$  de 30 evenements