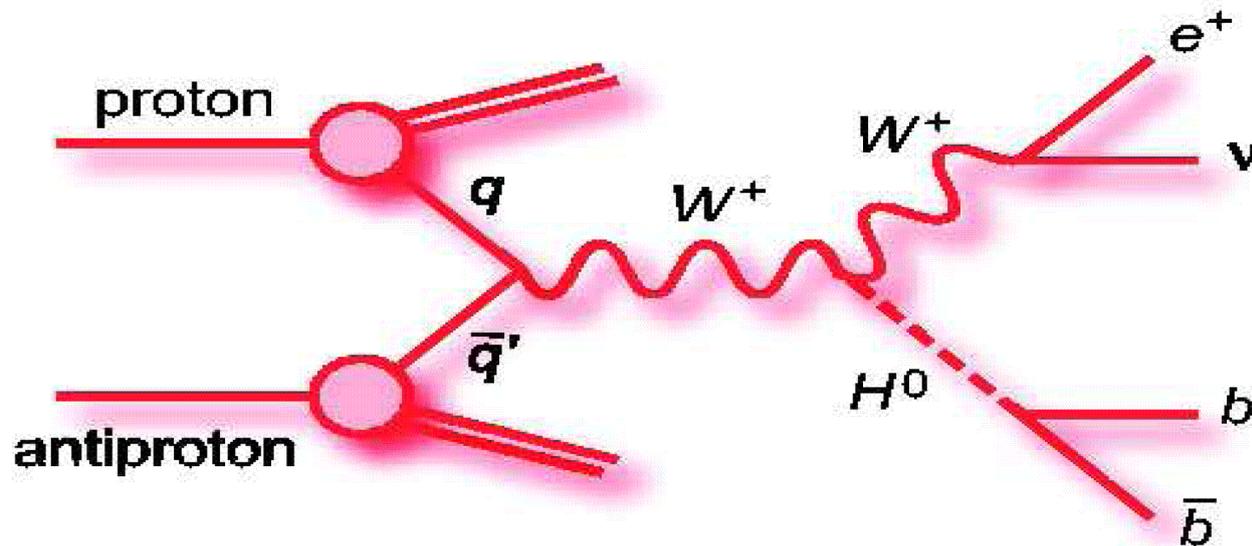


Recherche du boson de Higgs standard dans le canal WH avec 1.7fb^{-1} dans l'expérience DØ



jeremie lellouch LPNHE – Universités Paris VI et VII

Groupe WH-NN

Gregorio Bernardi, Yuji Enari, Nils Huske, jl, Michiel Sanders

Plan

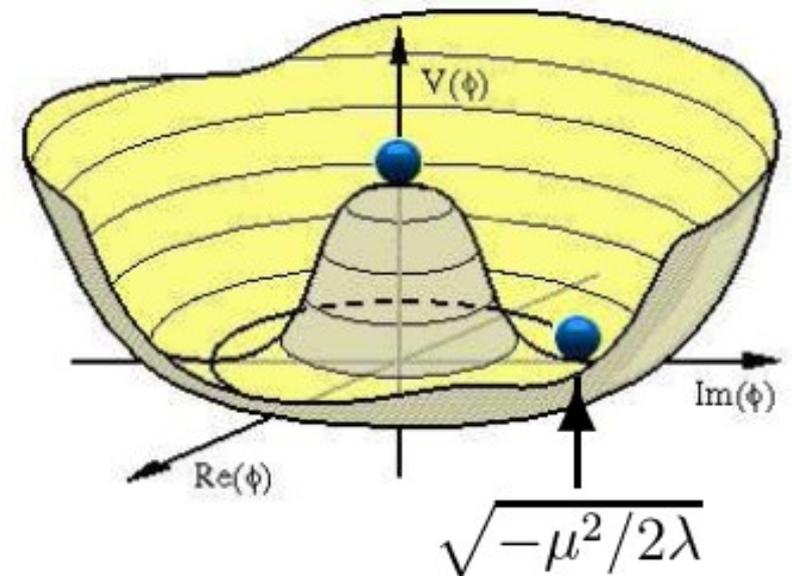
- **Le champ de Higgs ; contraintes sur la masse du Higgs ; le Higgs au Tevatron**
- **L'accelerateur Tevatron et le detecteur DØ**
- **Le canal WH : sélections, échantillons de données, bruits de fond**
- **Distributions principales**
- **Etiquetage des jets de b (b-tagging) et distributions après étiquetage**
- **Gain en sensibilité avec un réseau de neurones**
- **Limites sur la section efficace de production du Higgs**
- **Conclusions**

Boson de Higgs?

- ▶ **Modele Standard** : les particules sont sans masse, mais l'experience montre qu'elles en ont une
- ▶ **Introduction du champ de Higgs** pour expliquer la brisure de symetrie electro-faible
- ▶ **Rendre la theorie electro-faible, et donc le Modele Standard, renormalisables**
- ▶ **Attribuer des masses aux particules (bosons et fermions) sans detruire la renormalisabilite de la theorie**
- ▶ **La symetrie de jauge du lagrangien reste conservee**

$$\mathcal{L}_\Phi = |D_\mu \Phi|^2 - V(|\Phi|^2)$$

$$V = \mu|\Phi|^2 + \lambda|\Phi|^4$$



$$m_H = \sqrt{-2\mu^2}$$

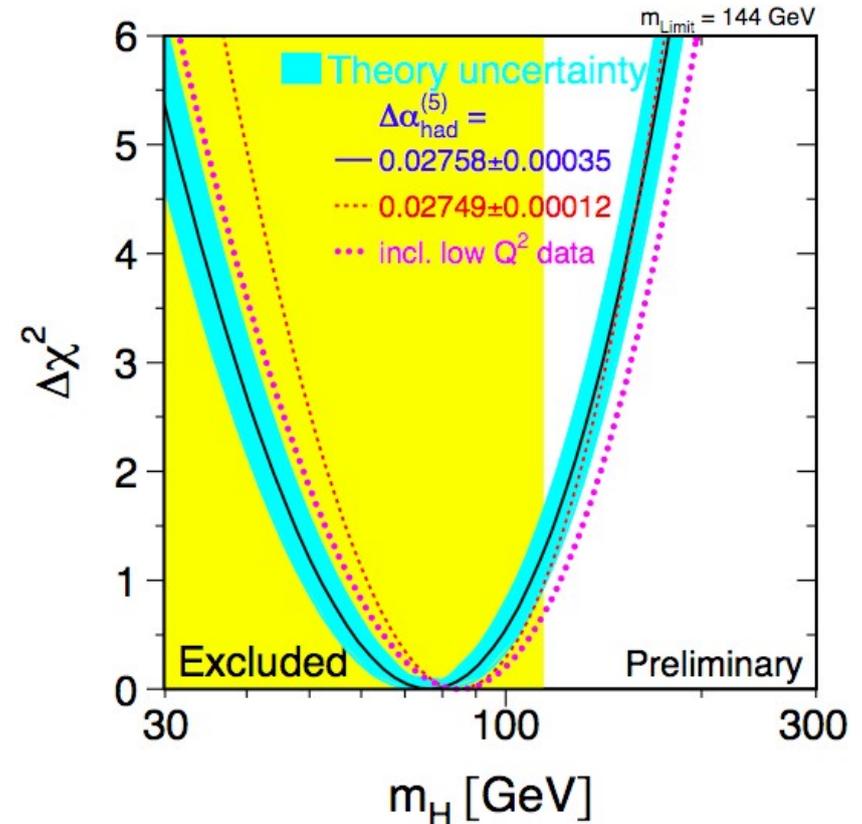
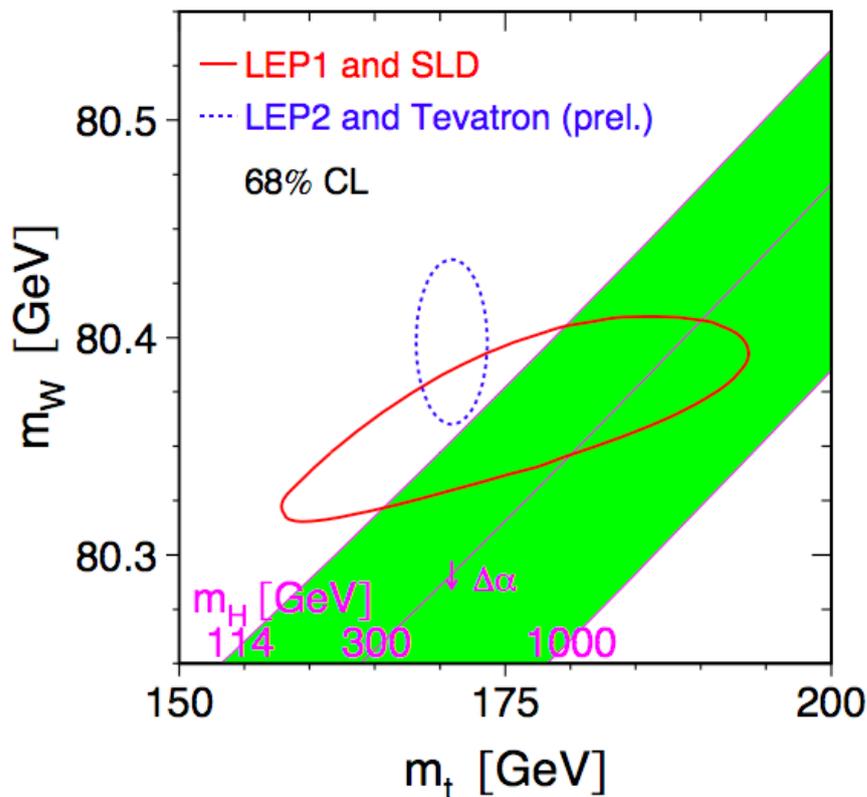
Contraintes sur la masse du Higgs

- ◆ Recherche du Higgs active depuis 30 ans
- ◆ Recherche directe a LEP : $M_{\text{Higgs}} > 114 \text{ GeV @ 95\%}$
- ◆ Recherches indirectes : incluent les mesures du Tevatron

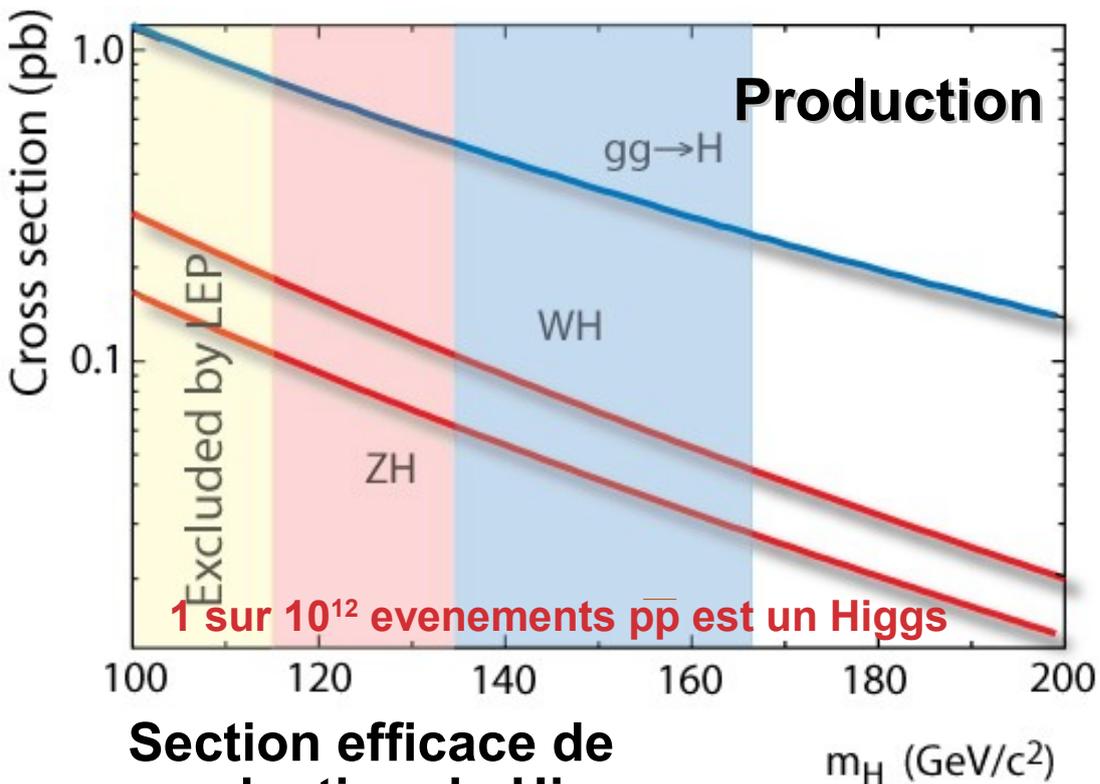
$$M_{\text{top}} = 170.9 \pm 1.8 \text{ GeV} \quad \& \quad M_W = 80.398 \pm 0.025 \text{ GeV}$$

$$m_H = 76 +33 -24 \text{ GeV}$$

$$m_H < 144 \text{ GeV @ 95 \% CL (182 GeV avec limit LEP)}$$



Le Higgs au Tevatron



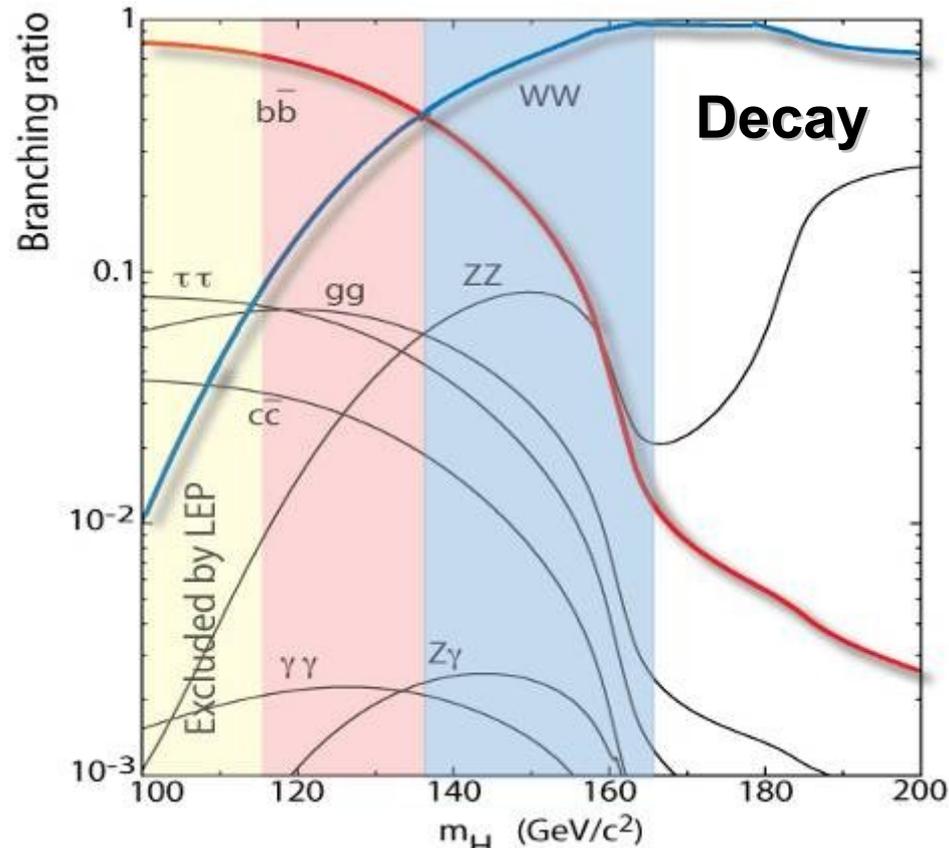
Section efficace de production du Higgs

- < 1 pb

A comparer a

- 12 pb WW
- 7 pb paire de top
- 3 pb top seul
- 2 pb ZZ

W+jets : bruit de fond principal du WH



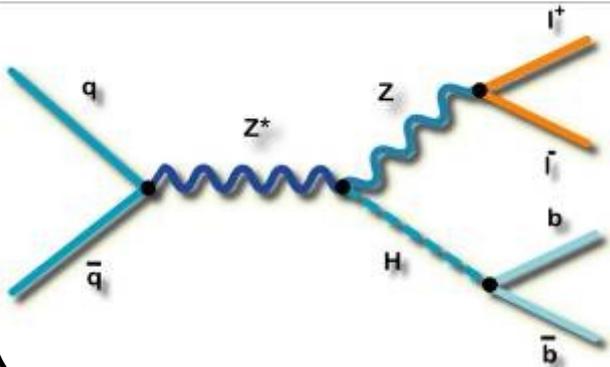
Canaux les plus sensibles au Tevatron

- Si basse masse ($m_H < 135$ GeV):
 - Production avec W ou Z
 - Désintégration en paire de b
- Si haute masse ($m_H > 135$ GeV):
 - Production directe
 - Désintégration en paire de W

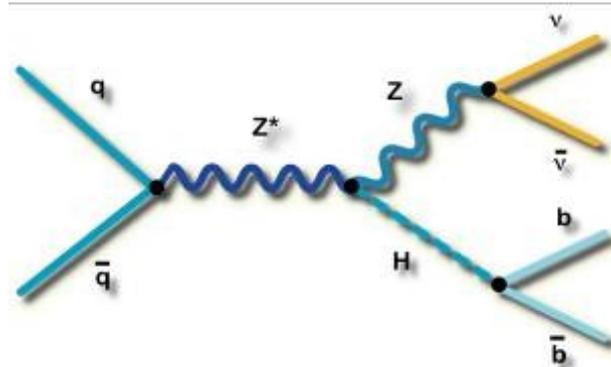
Le Higgs au Tevatron (II)

- Pour un Higgs léger : 3 canaux principaux

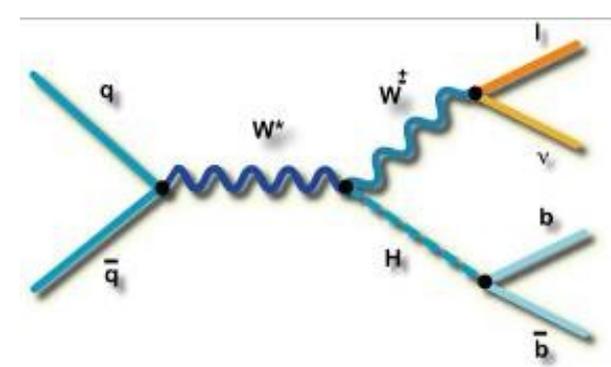
ZH \rightarrow llbb



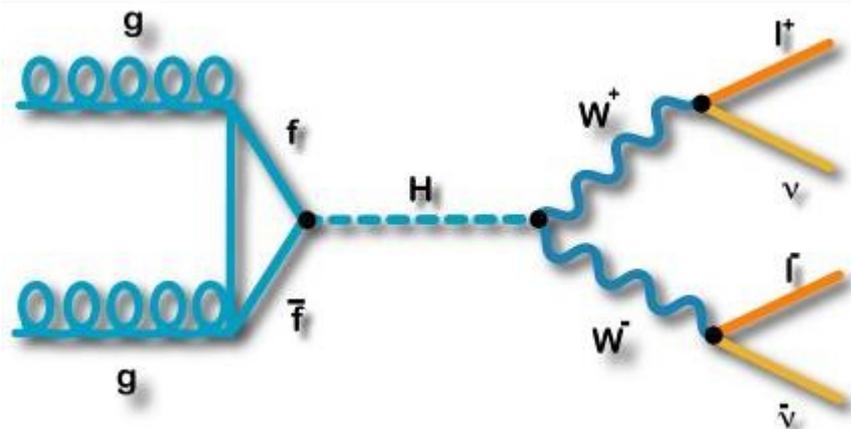
ZH \rightarrow $\nu\nu$ bb



WH \rightarrow $l\nu$ bb

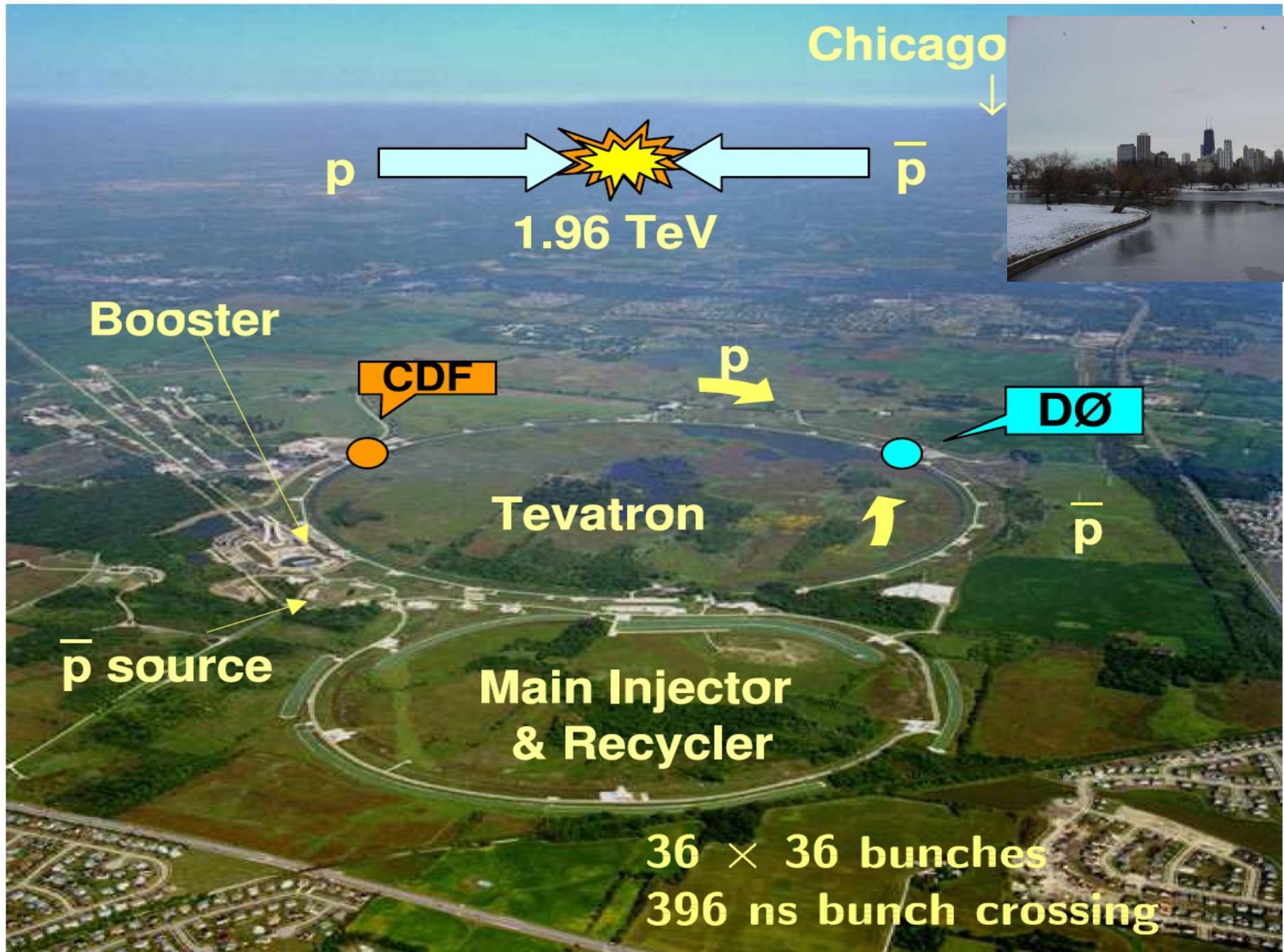


- Pour un Higgs lourd : 1 canal principal

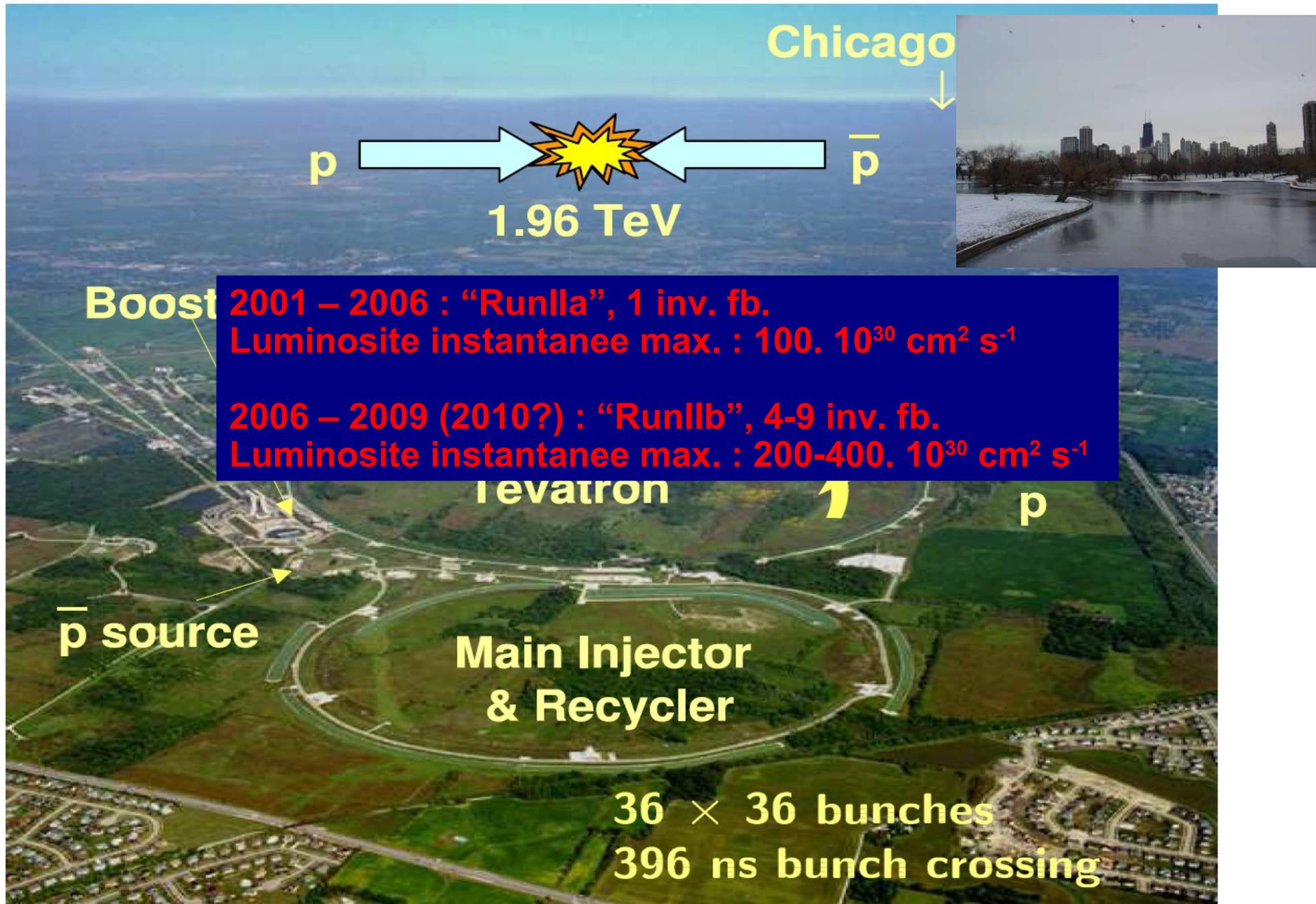


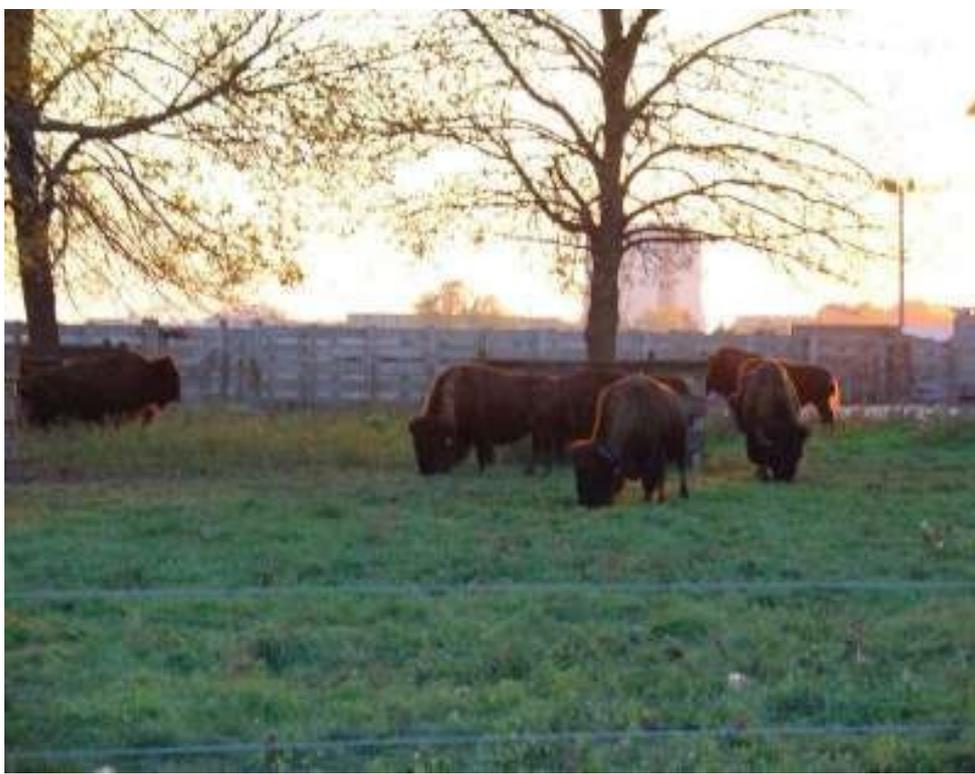
gg \rightarrow H \rightarrow WW \rightarrow $l\nu l\nu$

L'accelerateur Tevatron a Fermilab



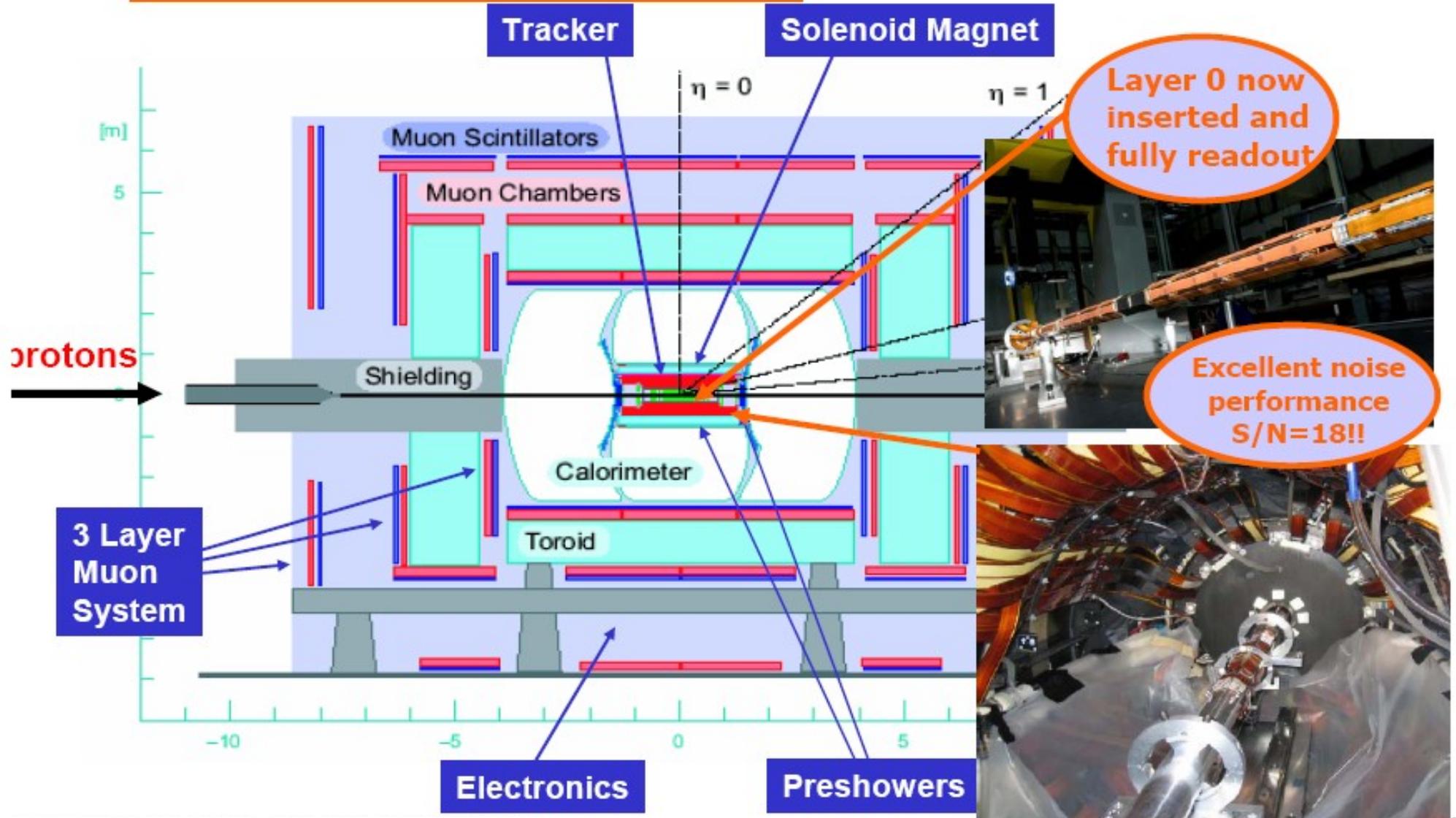
L'accelerateur Tevatron a Fermilab





Le detecteur DØ avec ameliorations RunIIb

- Trigger: L1 Calorimeter trigger
- Silicon vertex detector: Layer 0



Quelques jalons recents de l'analyse WH

◆ Presentations aux conferences

★ Totalite du RunIIa – 1 inv. fb. : analyse “coupures” - Moriond 07
DØNote 5357-CONF

★ Totalite du RunIIa : mise a jour “reseau de neurones” - Lepton-Photon 07
DØNote 5472-CONF

★ 650 inv. pb. de RunIIb : analyse “reseau de neurones” - Lepton-Photon 07
DØNote 5472-CONF

◆ Plan a court terme : publier l'analyse RunIIa le plus vite possible

◆ Plan a moyen terme : inclure la totalite du RunIIb (~ 1.2 inv. fb.) dans l'analyse et presenter une mise a jour a Moriond 08

Canal WH: sélection des événements

- On recherche la signature d'un boson W et d'un Higgs se désintégrant en paire de b
- Mode leptonique : la signature du W est un lepton isolé **d'impulsion transverse $> 15\text{GeV}$** et de l'énergie transverse manquante (neutrino du W non détecté) **$\text{MET} > 20\text{GeV}$**
- Deux échantillons : les leptons "loose" passent les sélections standards et sont en dehors des jets ($dR > 0.5$) ; les leptons "tight" sont loose + des critères additionnels : **isolation tracker / calorimètre pour le muon, "likelihood" basé sur la forme de gerbe pour l'électron**
- La signature du Higgs est une paire de jets : **on demande deux jets, le jet de plus haute impulsion transverse ayant $p_T > 25\text{GeV}$, le deuxième jet ayant $p_T > 20\text{GeV}$**
- Canal principal : exactement 2 jets, mais **gain possible de 8-10% en sensibilité après ajout de l'échantillon 3 jets + études en cours sur électrons à l'avant (forward)**

Échantillons de données et déclenchement

◆ Echantillons de données

- ◆ Totalité du “RunIIa” + une partie du “RunIIb”

◆ Luminosité intégrée

- ◆ ~1050 inv. pb. RunIIa
- ◆ ~650 inv. pb. RunIIb

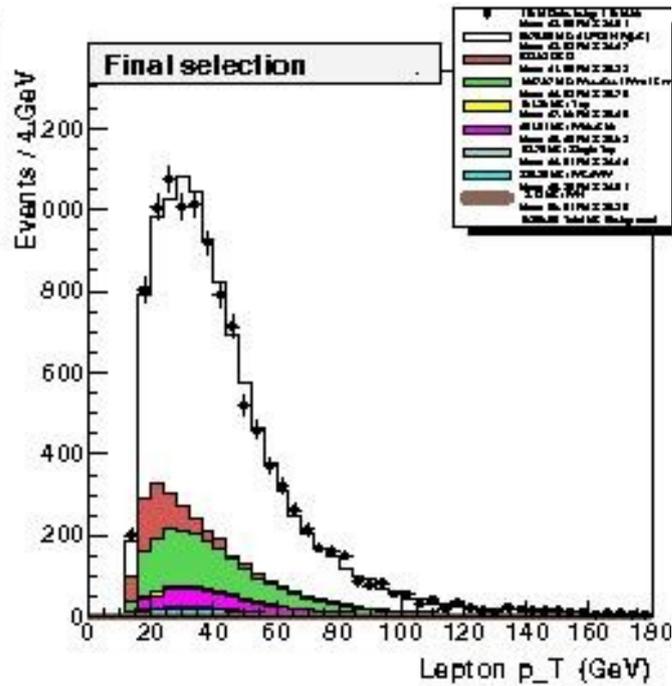
◆ Selection de triggers (déclenchement)

- ◆ Muon: **pas de sélection → “ORing” de l’ensemble des triggers de D0
efficacite proche de 100%
+15% en sensibilite compare a un mix “single-muon”**
- ◆ Electron: triggers type “EM+Jet “ (un objet EM et un objet type jet)
- ◆ Possibilité de gagner en statistique en incluant des triggers single-EM dans le canal électron

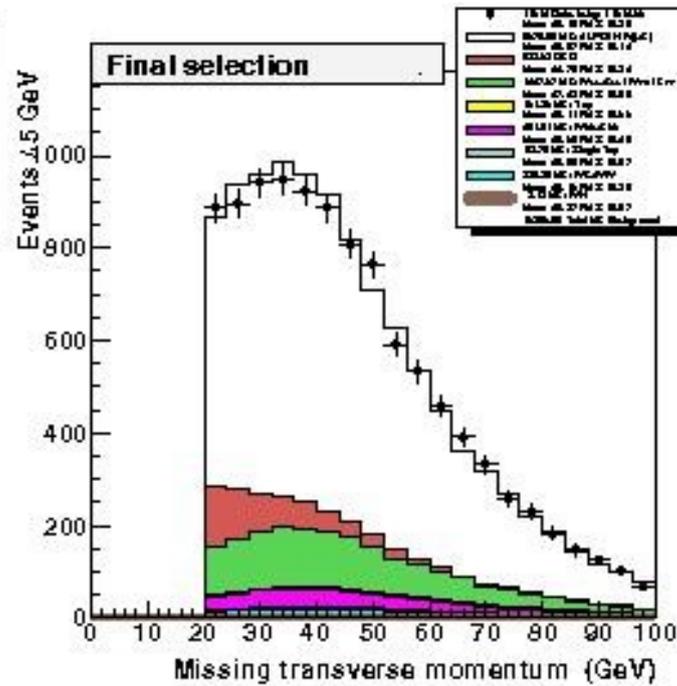
Signal / bruit de fond

- ▶ **Bruit de fond dominant : W/Z+jets légers avant étiquetage des b, W/Z+saveurs lourdes après étiquetage (ALPGEN/Pythia)**
- ▶ **Top : tt di-lepton (tt → ll vv bb) et single-lepton (tt → l v bb) (ALPGEN/Pythia)**
- ▶ **Di-boson : wz, ww, zz (Pythia)**
- ▶ **Single-top (COMPHEP)**
- ▶ **Bruit de fond QCD / multi-jet : bruit instrumental. Un muon non-isole (par exemple provenant d'une désintégration semi-leptonique d'un hadron) peut être identifié comme isole et provenant d'un W ; un jet avec dépôts d'énergie élevés dans la partie électro-magnétique du calorimètre peut être identifié comme un électron**
- ▶ **Le bruit de fond QCD n'est pas simulé, il est estimé statistiquement à partir des données**
- ▶ **Signal : WH → bb + μ ν et WH → bb + τ ν pour une masse du Higgs allant de 105 GeV à 145 GeV par pas de 10 GeV – affinage et extension de la grille de masses en cours (90 → 145 GeV par pas de 5 GeV)**
- ▶ **La contribution de W+jets légers est normalisée aux données après la sélection finale et avant étiquetage des b ; les autres contributions sont normalisées à leur section efficace**

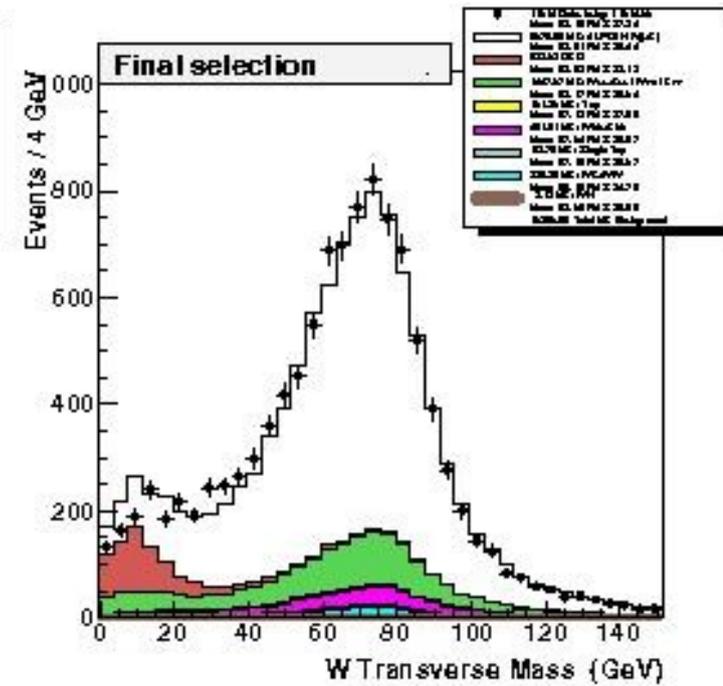
Quelques distributions leptoniques WH(mu) – 1 inv. fb.



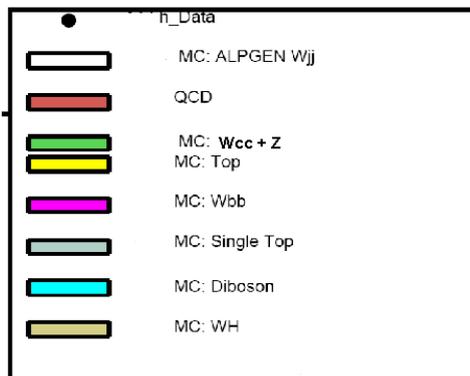
impulsion transverse
du muon



energie transverse
manquante

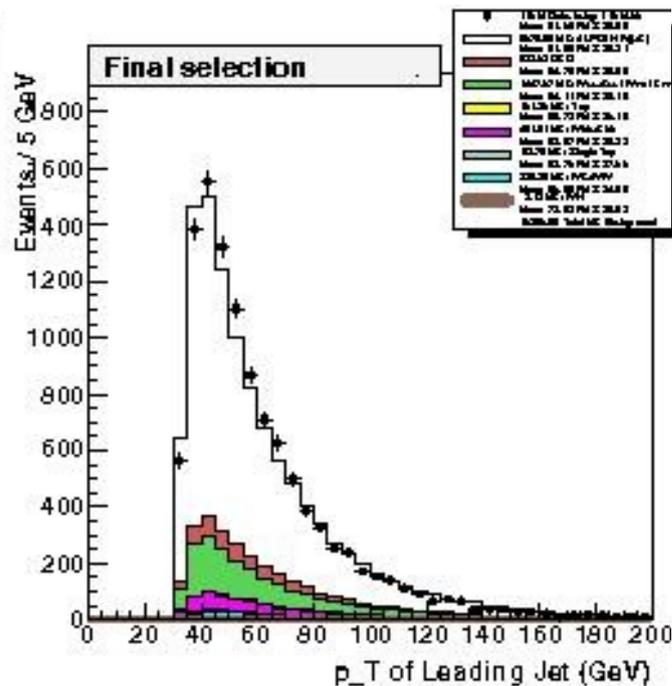


masse transverse
du boson W

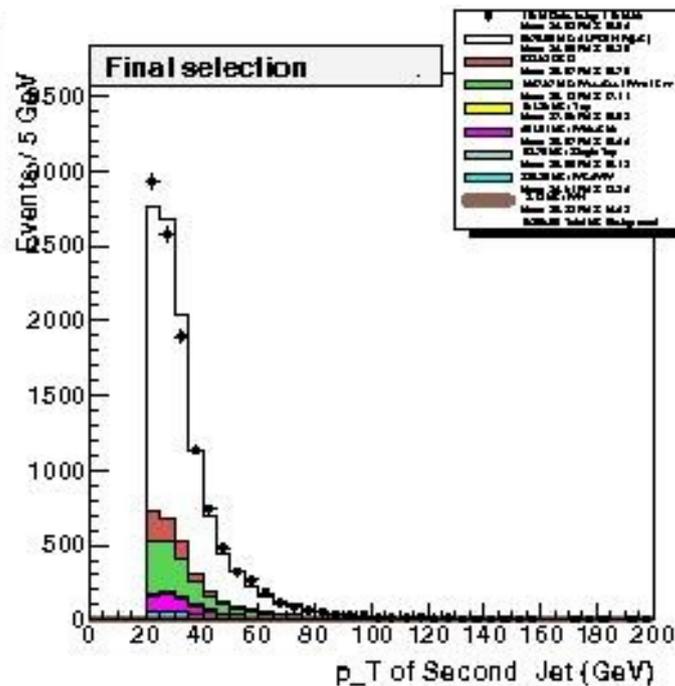


→ Bon accord donnees / simulation dans ces
trois distributions

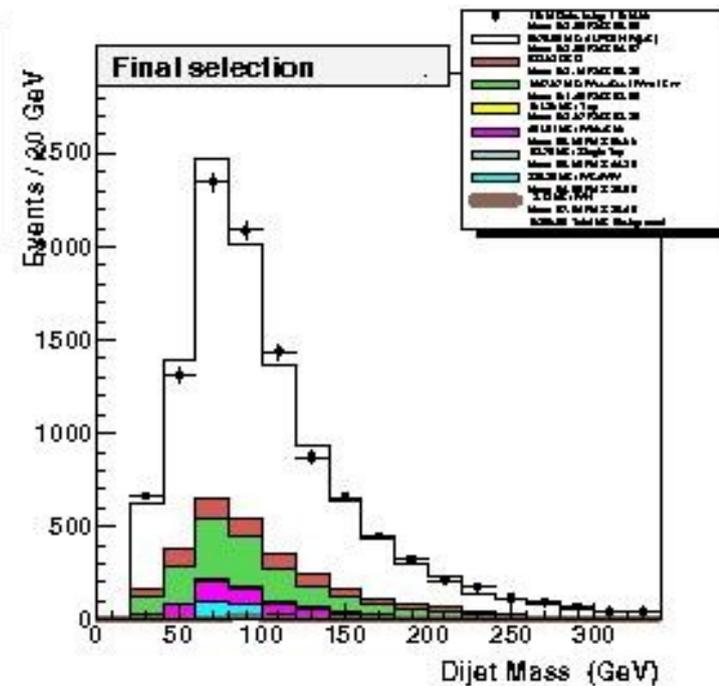
Quelques distributions hadroniques WH(mu) – 1 inv. fb.



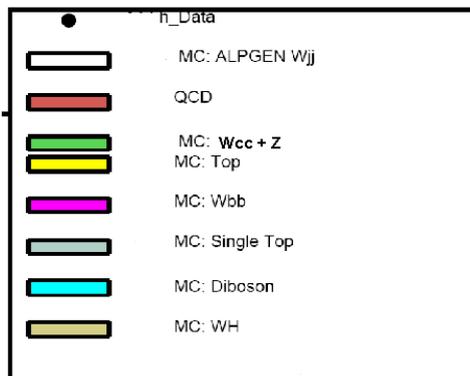
impulsion transverse
du jet de plus haut p_T



impulsion transverse
du deuxieme jet

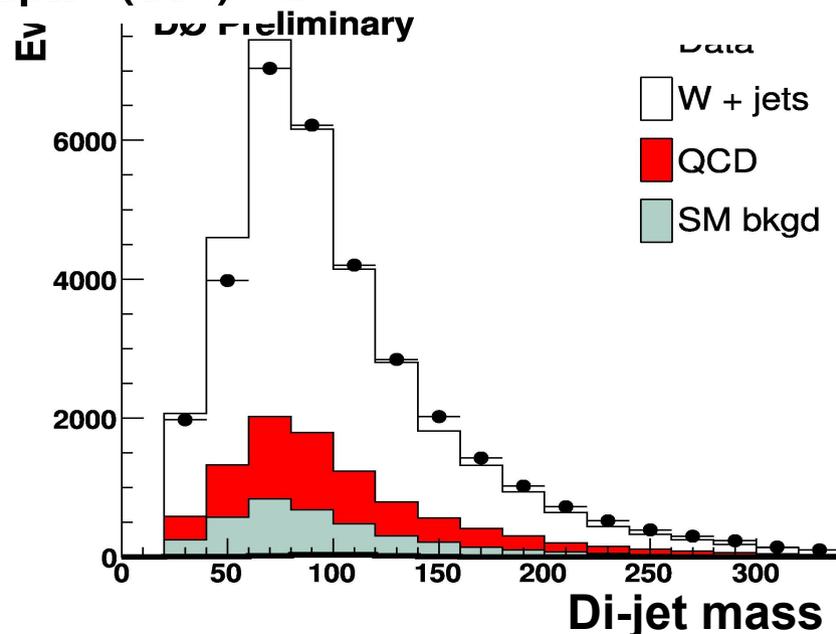
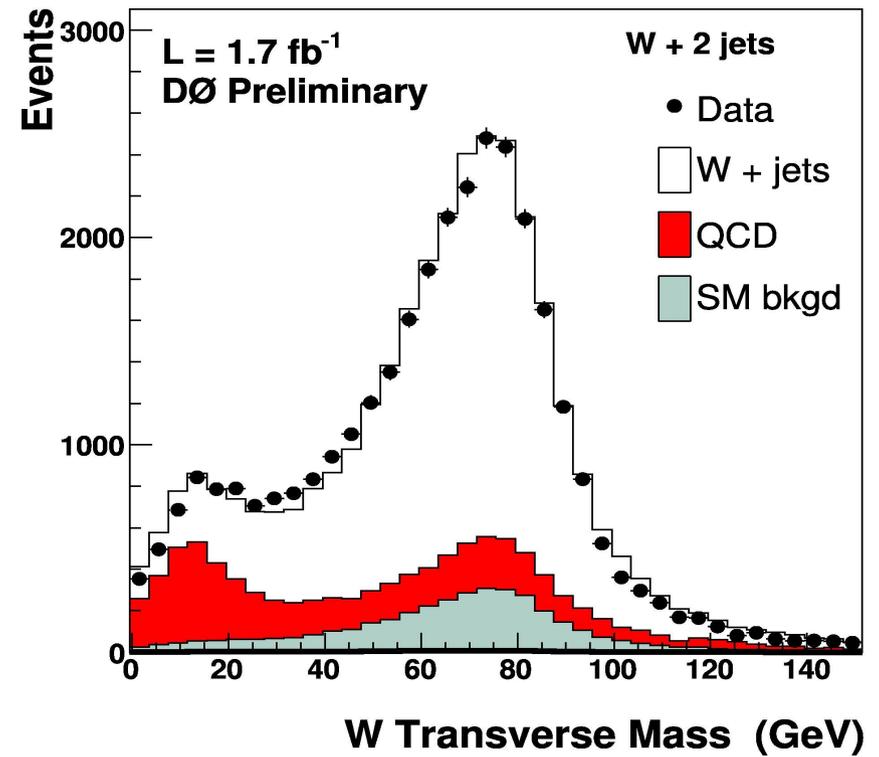
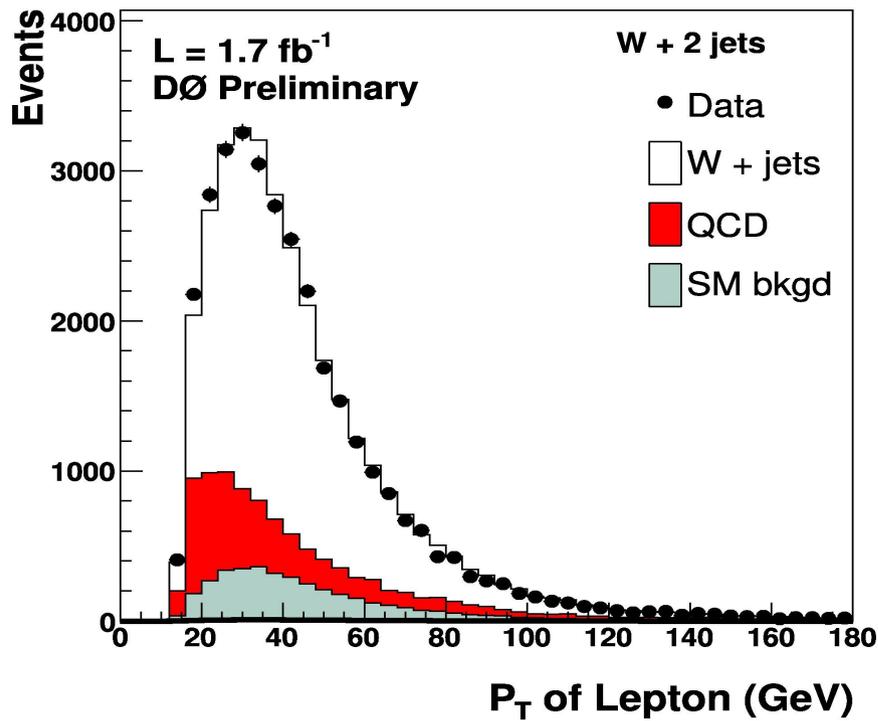


masse du systeme
di-jet



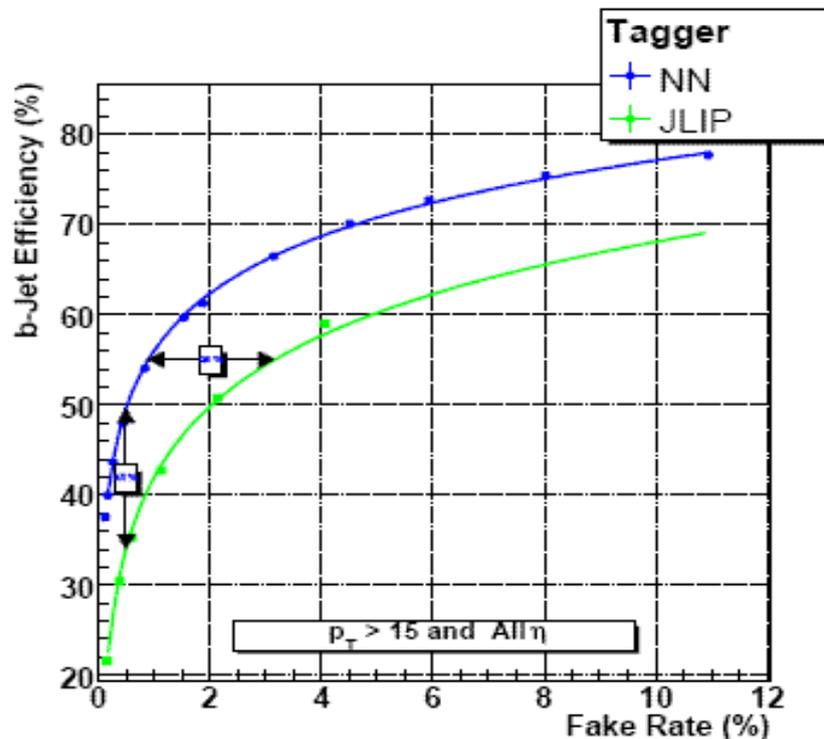
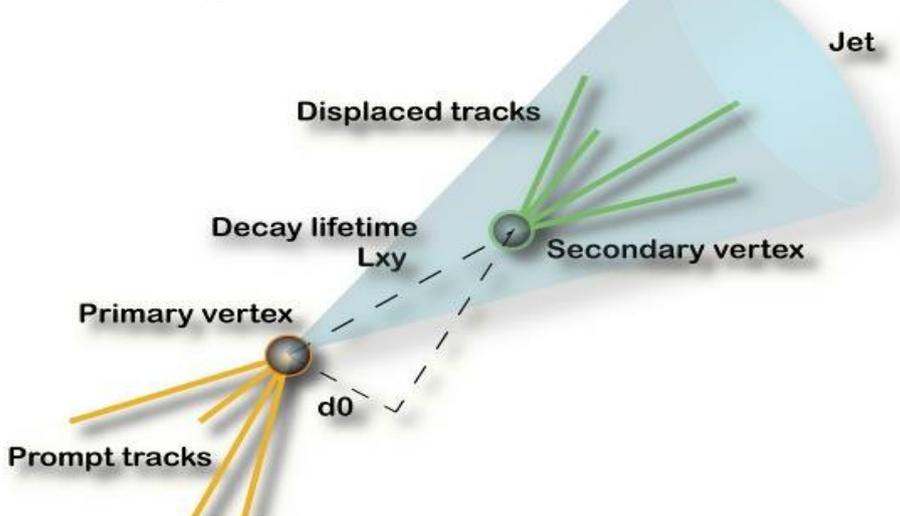
- Bon accord donnees / simulation dans ces trois distributions
- Masse du systeme di-jet : variable cruciale, finale – on derive les limites sur la section efficace de production du Higgs a partir de celle-ci

Quelques distributions WH(e+mu) – 1.7 inv. fb.



Étiquetage des b

Pour $m_H < 135$ GeV le “b-tagging” est crucial



- ◆ La signature du Higgs est deux jets provenant de quarks b : on doit étiqueter les jets selon leur saveur
- ◆ Le hadron B a un long temps de vie et vole avant de se désintégrer : vertex secondaire, paramètre d'impact élevé etc.
- ◆ $D\emptyset$ combine maintenant plusieurs algorithmes dans un réseau de neurones
- ➔ Gain en efficacité par rapport à un algorithme seul
- ➔ Efficacité de 50 – 70% pour les points d'opération “tight” et “loose” respectivement
- ➔ 0.5 – 4% de “mistag” c'est-à-dire de jets mal étiquetés

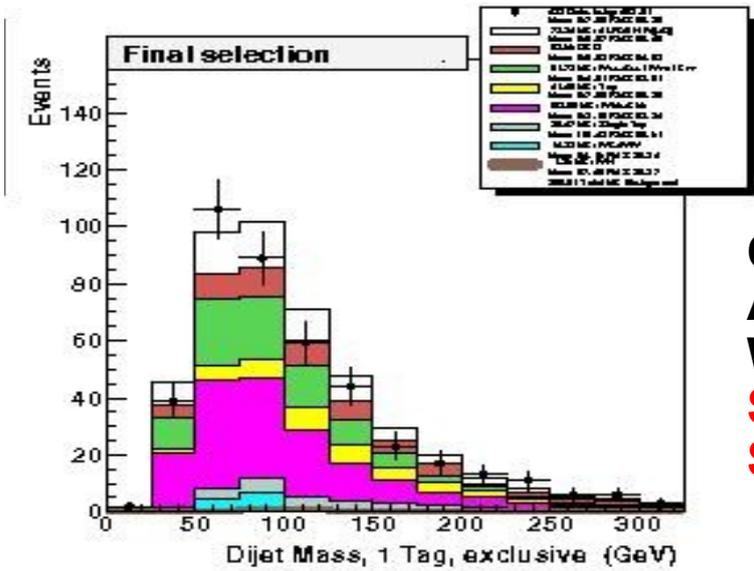
WH : deux échantillons disjoints, 2 tags lâches (1 % mistag) et un tag strict (0.3 % mistag), analyses séparément

Masse du di-jet apres etiquetage des b WH(mu) – 1 inv. fb.

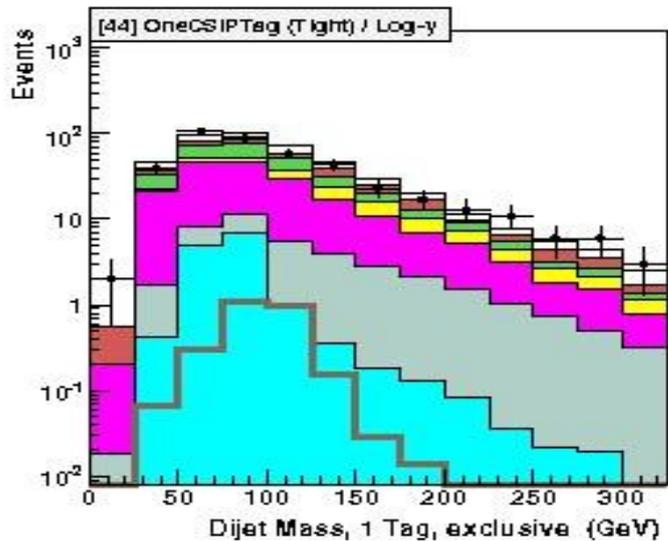
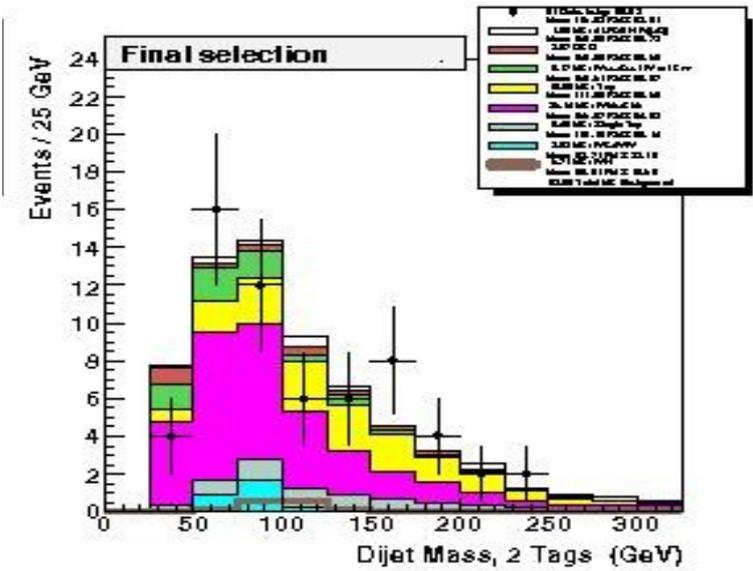
1 tag strict

$m_H = 115$ GeV

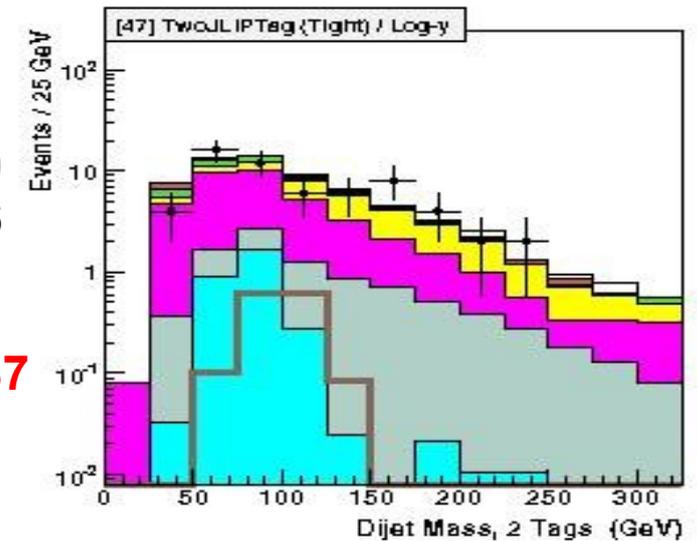
2 tags laches



Observes : 423
 Attendus : 453
 Wbb : 153
 Signal (WH) : 1.30
 S/sqrt(B) : 0.061



Observes : 61.0
 Attendus : 66.6
 Wbb : 30.1
 Signal (WH) : 0.71
 S/sqrt(B) : 0.087



RunIIa

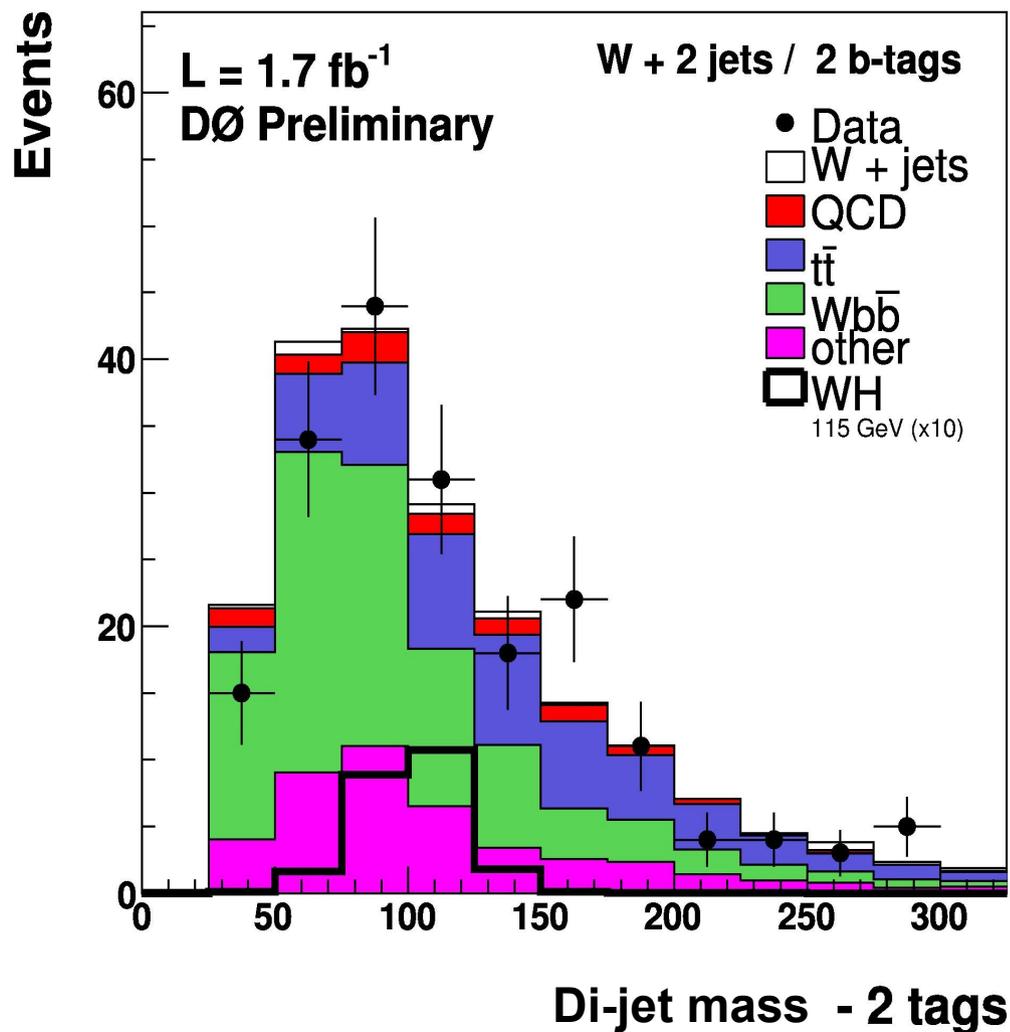
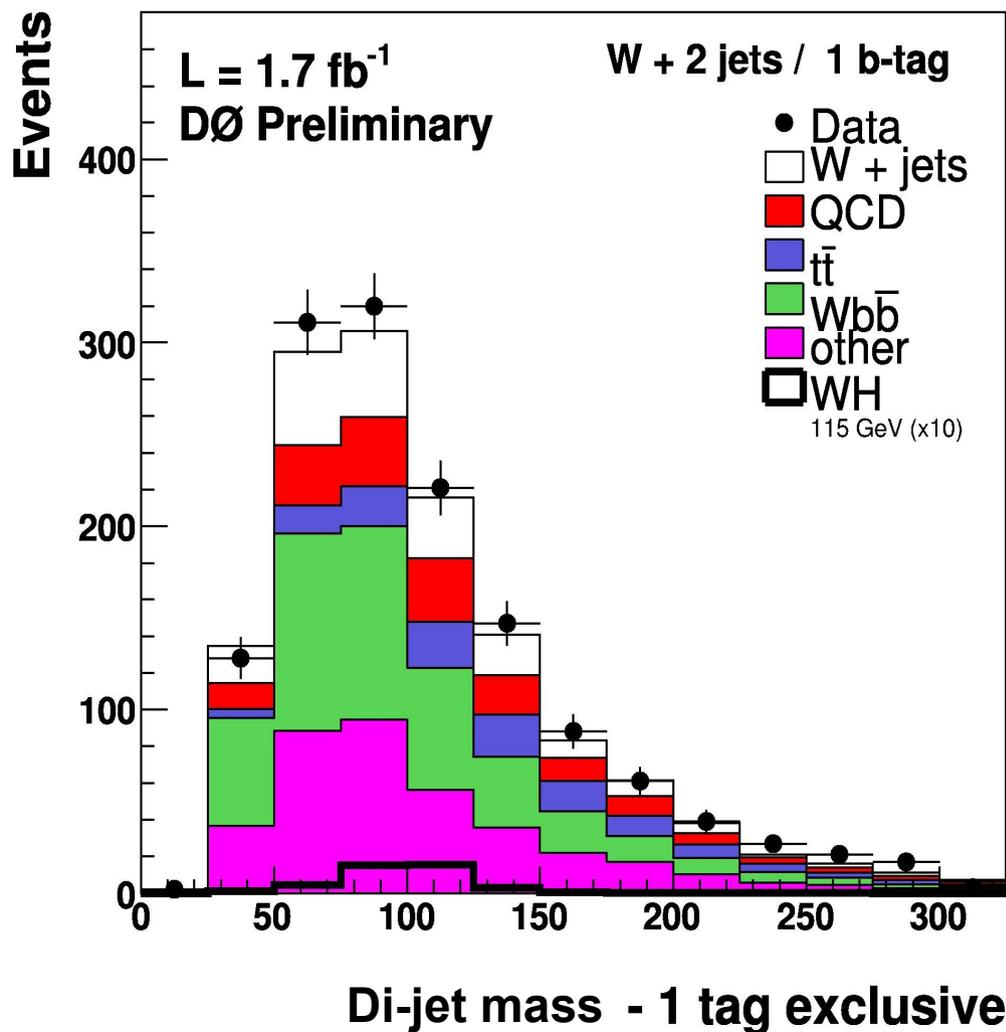
Distributions et composition similaires en RunIIb

Masse du di-jet apres etiquetage des b WH(e+mu) – 1.7 inv. fb.

1 tag strict

$m_H = 115 \text{ GeV}$

2 tags laches

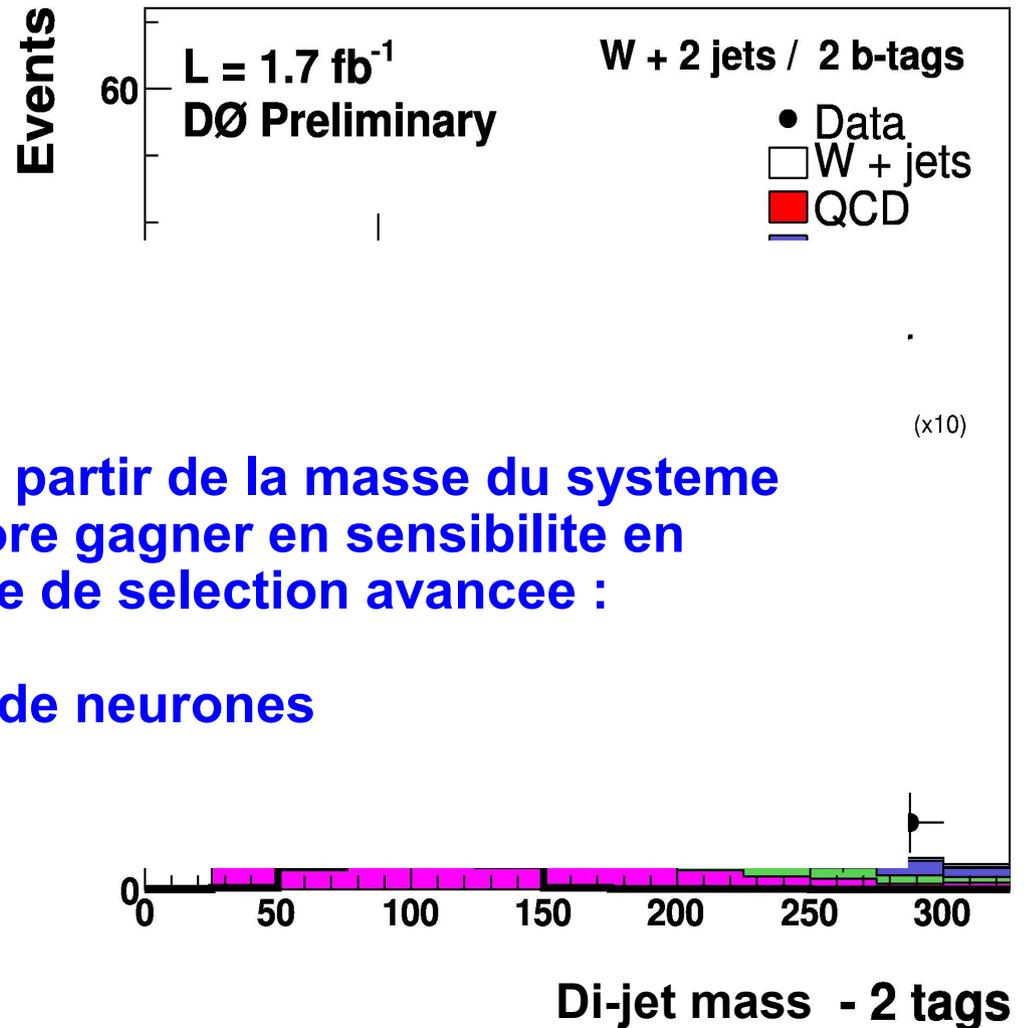
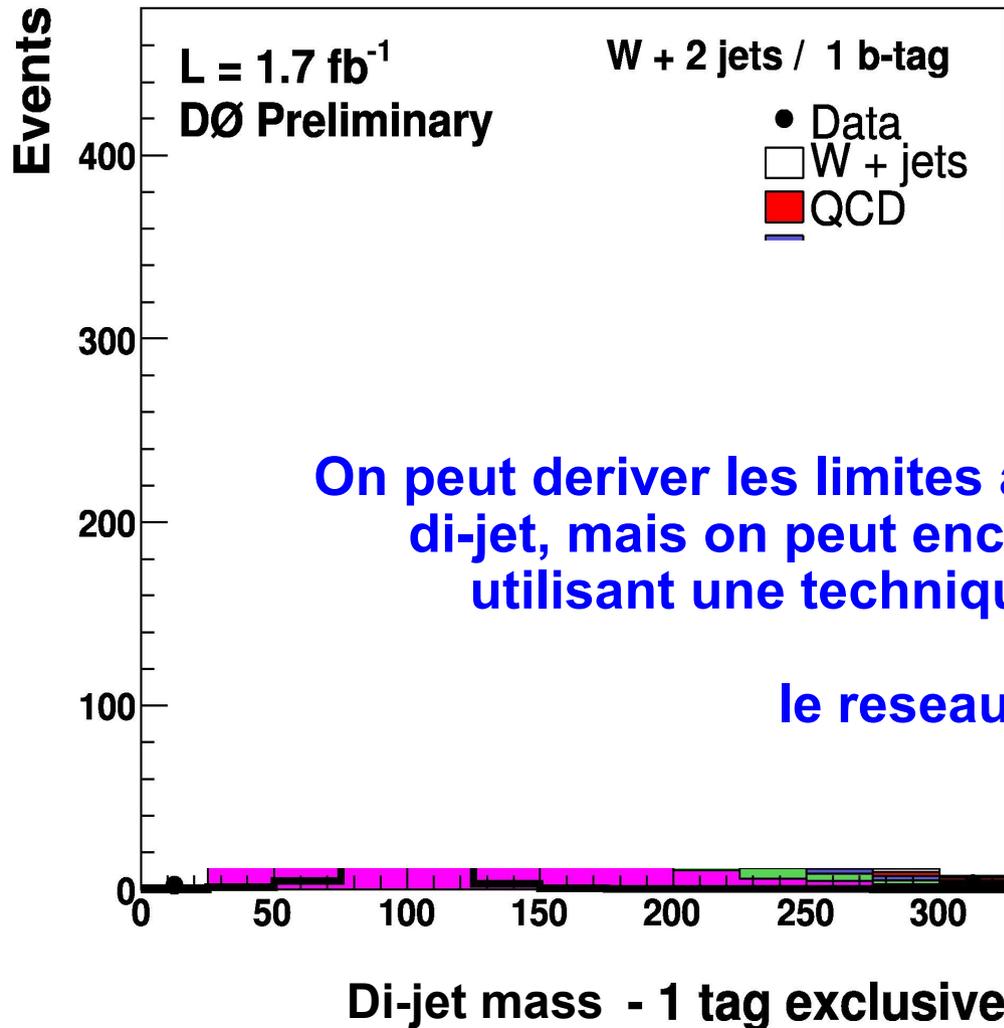


Masse du di-jet apres etiquetage des b WH(e+mu) – 1.7 inv. fb.

1 tag strict

$m_H = 115 \text{ GeV}$

2 tags laches



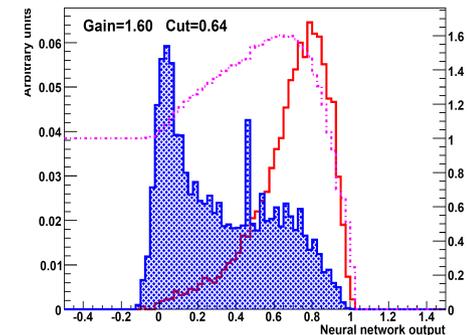
On peut derivier les limites a partir de la masse du systeme di-jet, mais on peut encore gagner en sensibilite en utilisant une technique de selection avancee :

le reseau de neurones

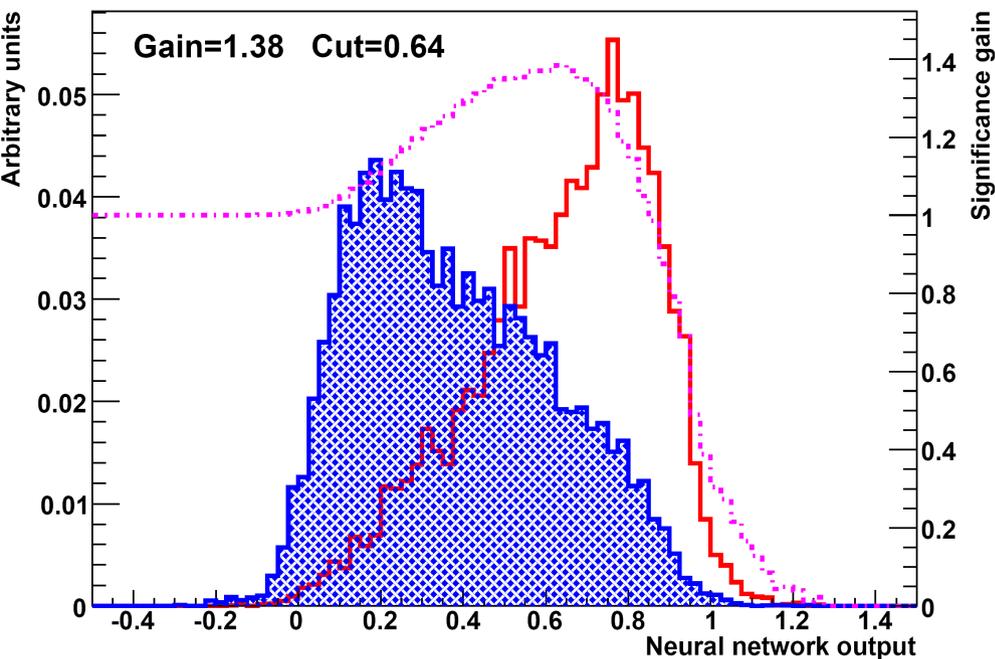
Analyse avec reseau de neurones

- L'analyse “coupures” marche bien, mais on peut faire mieux!
- Pour une discrimination accrue entre le signal et le bruit de fond, **on utilise un reseau de neurones qui combine plusieurs variables topologiques et cinematiques dans un discriminant**
- On doit entrainer le reseau pour qu'il “reconnaisse” le signal du bruit de fond ; on effectue cette operation sur les echantillons simules (WH = signal ; Wbb = bruit de fond)
- On entraine **un reseau par masse du Higgs** (105, 115, etc.) afin d'optimiser la discrimination – beaucoup d'information dans la variable M(jj)
- On entraine le reseau sur les echantillons **single-tag et double-tag separement** car la composition du bruit de fond est differente.

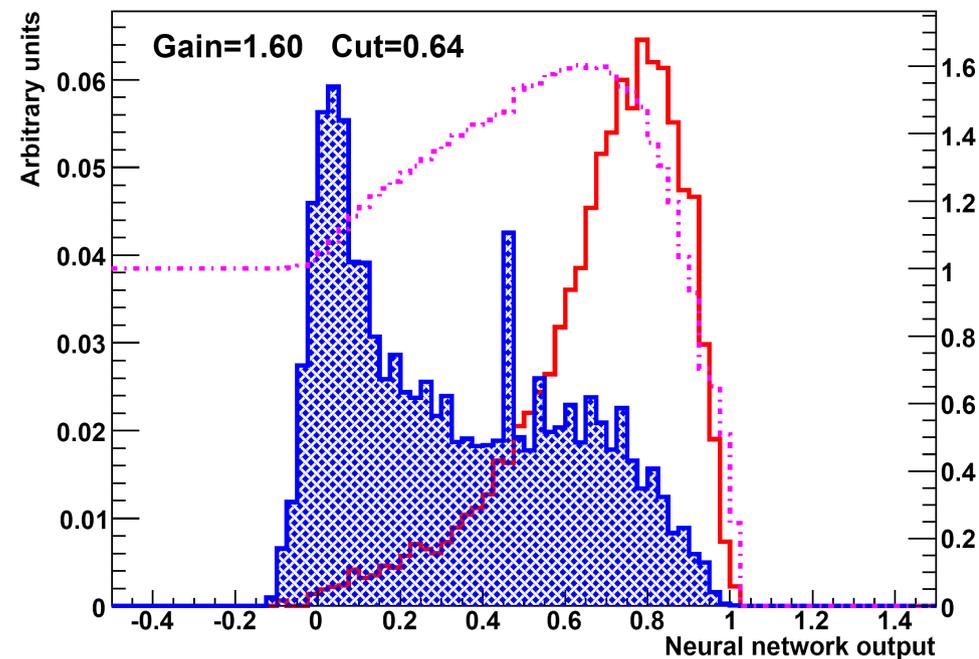
Variables discriminantes
pT jet1, pT jet2, dR(jets),
pT(W), pT(dijet), M(jj),....



Performance du reseau de neurones



Single-tag

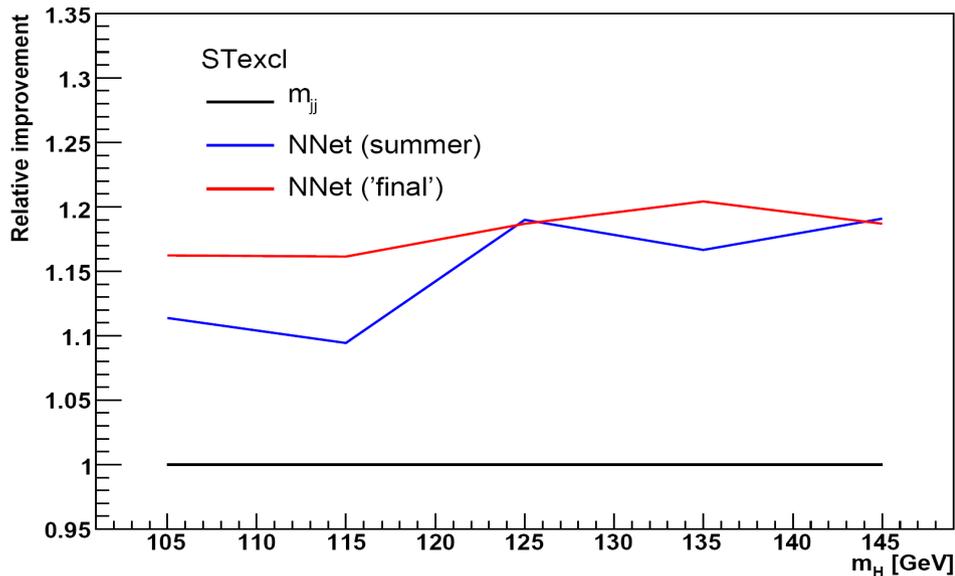


Double-tag

rouge = NN output sur signal
bleu = NN output sur somme des bruits de fond
mauve = gain en significativite si coupure a la valeur indiquee

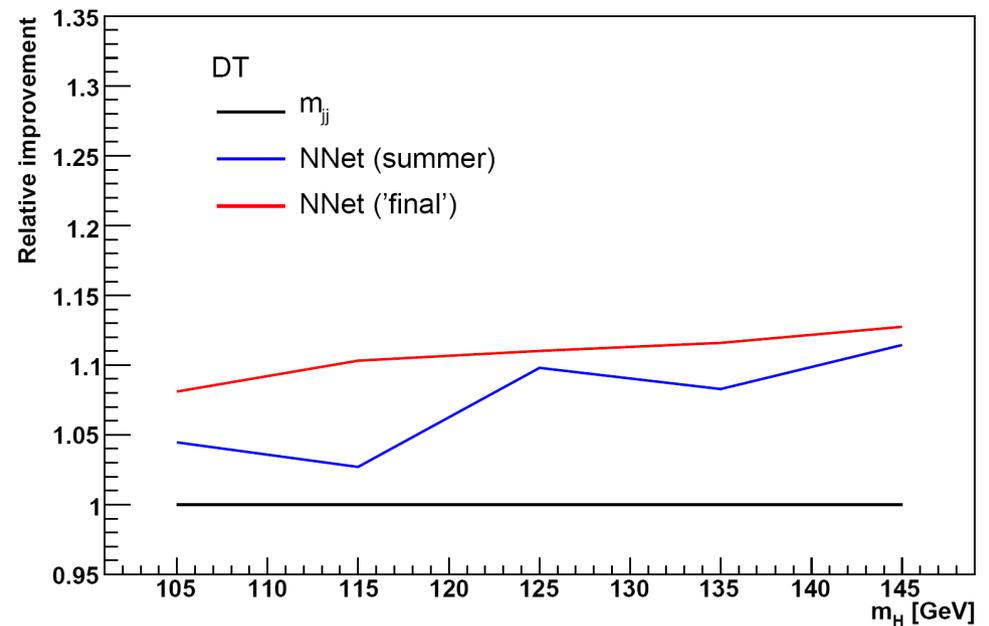
→ Claire separation signal / bruit de fond – le NN est performant!

Performance du reseau de neurones (II)



Exactement un b-tag strict (single-tag exclusif)
+15-20% en sensibilite / di-jet mass

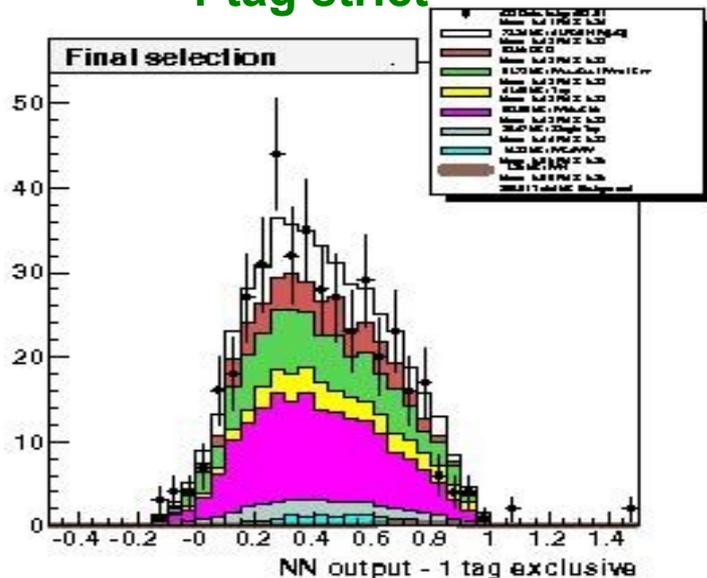
Exactement deux b-tag laches (single-tag)
+10-13% en sensibilite / di-jet mass



- Masse du systeme di-jet
- Reseau de neurones "Lepton-Photon 07"
- Reseau de neurones actuel

Variable de sortie du reseau de neurones WH(mu) – 1 inv. fb.

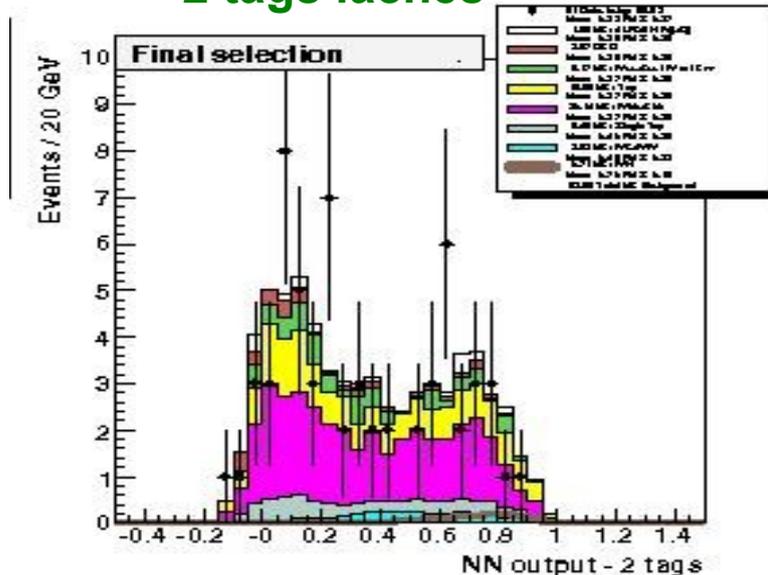
1 tag strict



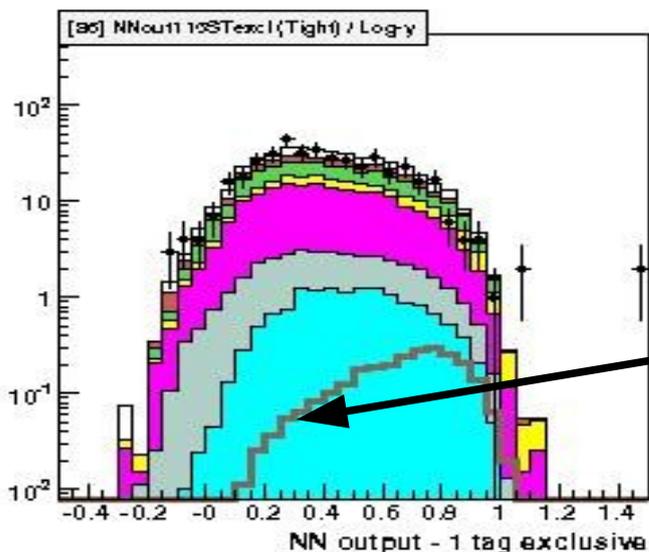
$m_H = 115 \text{ GeV}$

Bon accord
donnees / simulation
et
claire discrimination
signal / bruit de fond

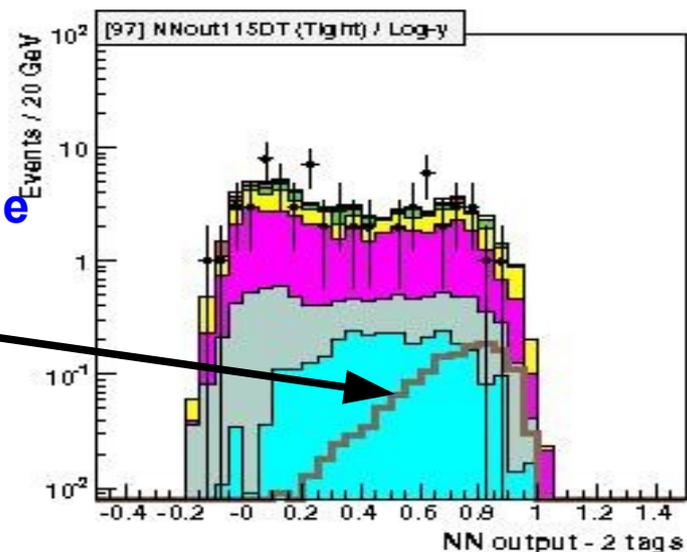
2 tags laches



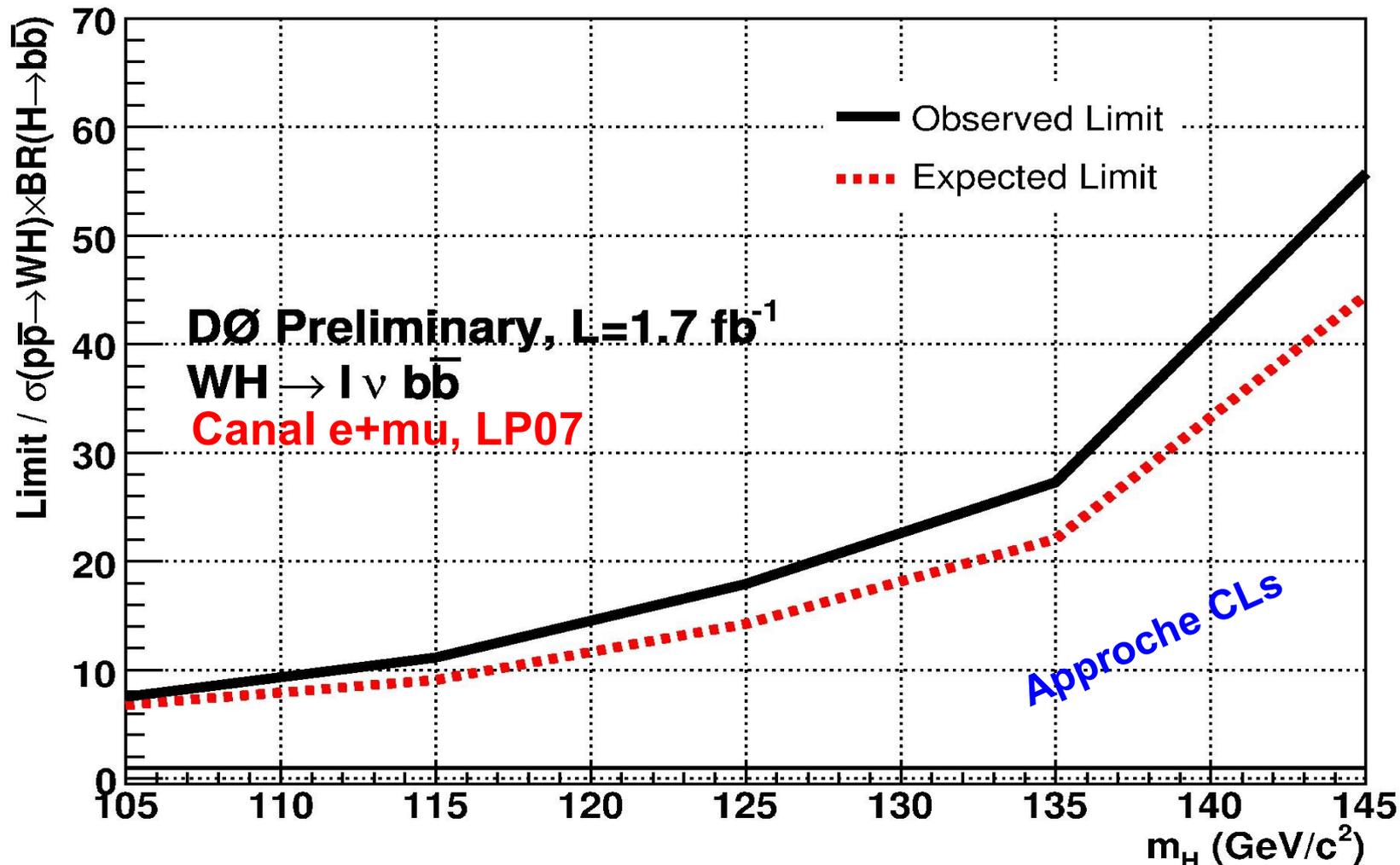
→ En l'absence de signal on
derive une limite sur la
production du Higgs en
utilisant ces distributions
(sans faire de coupure sur le
discriminant)



Signal WH



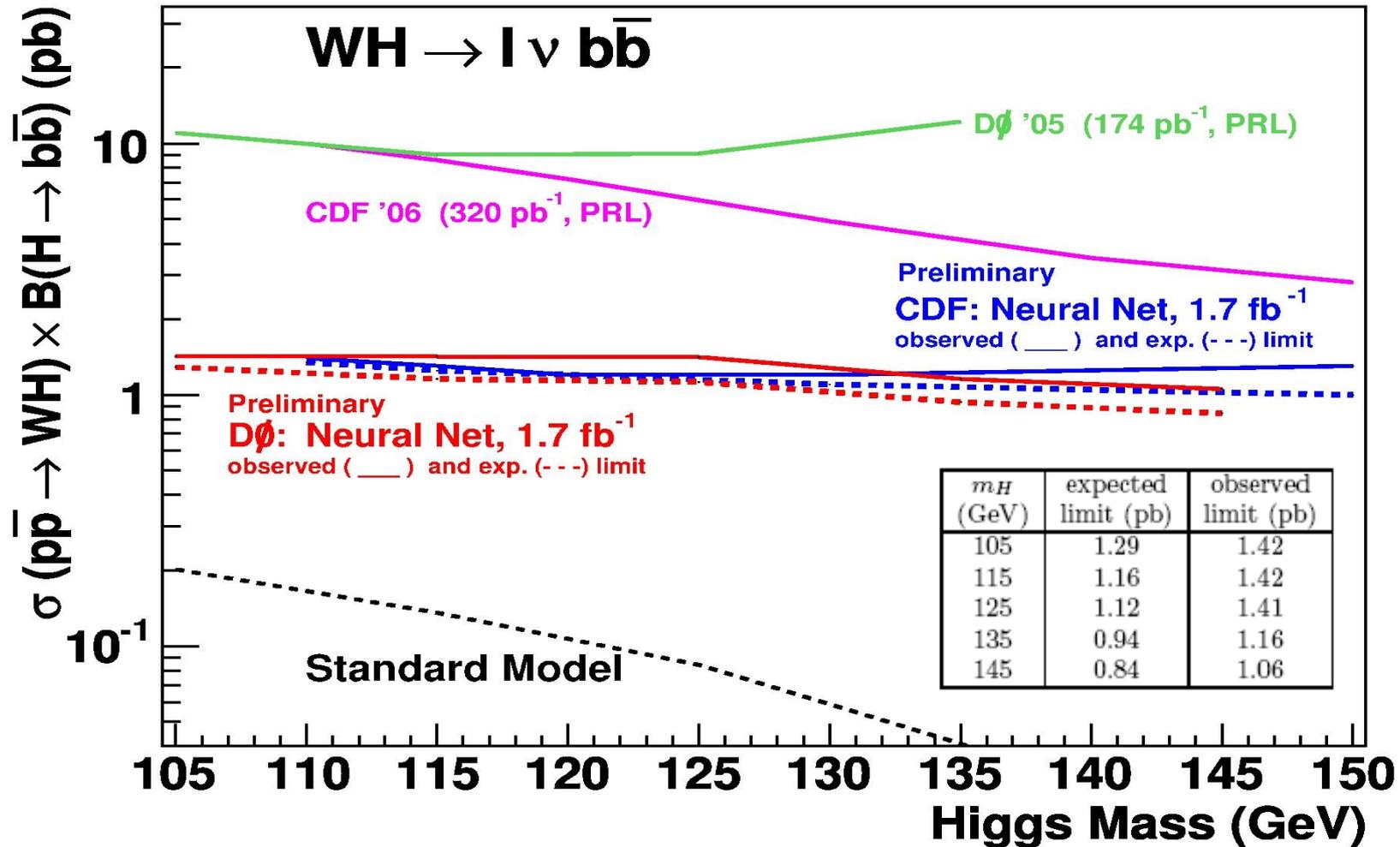
Limites sur la section efficace de production du Higgs



Rapport de la section efficace calculée à celle prédite par le Modèle Standard en fonction de la masse du Higgs à 95% CL

Limite **attendue** : calculée à partir du modèle Monte-Carlo ; limite **observée** : calculée à partir des données, sensible aux fluctuations statistiques (si statistique infinie et modèle parfait – les deux courbes se superposent)

Limites sur la section efficace de production du Higgs (II)



Limite calculée en fonction de la masse du Higgs, comparée à celle que CDF obtient sur un échantillon de même taille

Les deux expériences ont des performances quasi-identiques

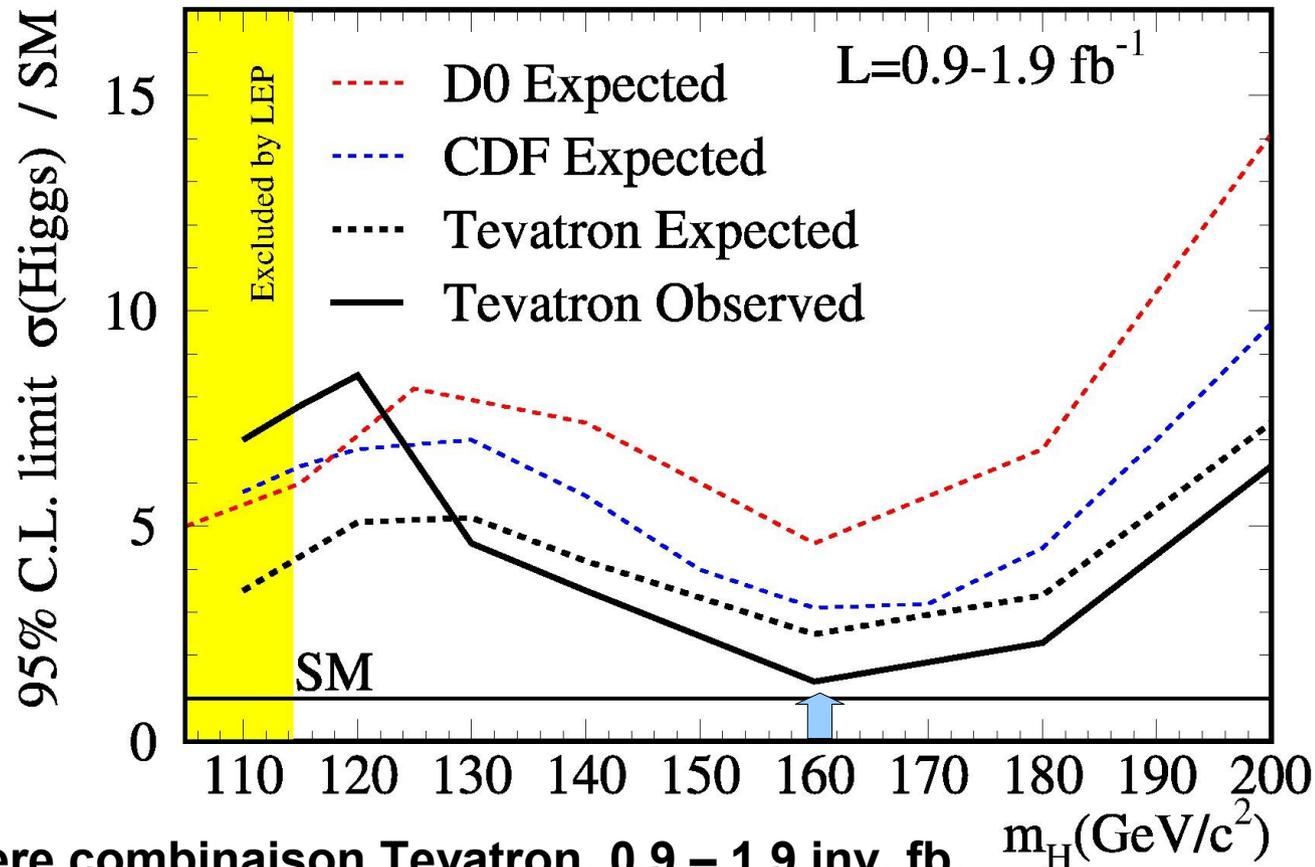
Combinaison totale Tevatron

◆ Pour trouver le Higgs au Tevatron il faut

★ combiner tous les canaux analyses

★ combiner les deux experiences CDF et D0

Tevatron Run II Preliminary



◆ Dernière combinaison Tevatron, 0.9 – 1.9 inv. fb.

◆ Tevatron est très performant dans la recherche du Higgs

◆ A un facteur ~1.4 du Modèle Standard à 160 GeV (fluctuation stat. vers le bas / expected) – exclusion à 95% CL (la première depuis LEP!)

possible en 2008

Conclusion

- Recherche du boson de Higgs standard dans le canal WH par l'expérience DØ avec 1.7 fb^{-1} : pas d'excès observé
- Calcul de limites : **1.4 pb** (observee) pour un boson de Higgs de **115 GeV**
- Gain significatif en sensibilité avec utilisation d'un réseau de neurones
Améliorations en cours d'implémentation (+10% en réserve avec le 3-jet, etc.)
- Analyse au centre du programme Higgs de Tevatron – le WH est le canal le plus sensible à basse masse, mais besoin de combiner!
- Tevatron se rapproche à grands pas du Modèle Standard – exclusion possible d'un Higgs de 160 GeV en 2008
- Il faut donc ne rien laisser au hasard : traitement poussé des erreurs systématiques, implémentation de toutes les sources d'amélioration possibles, mise en place de nouvelles techniques d'analyse avancées, etc.

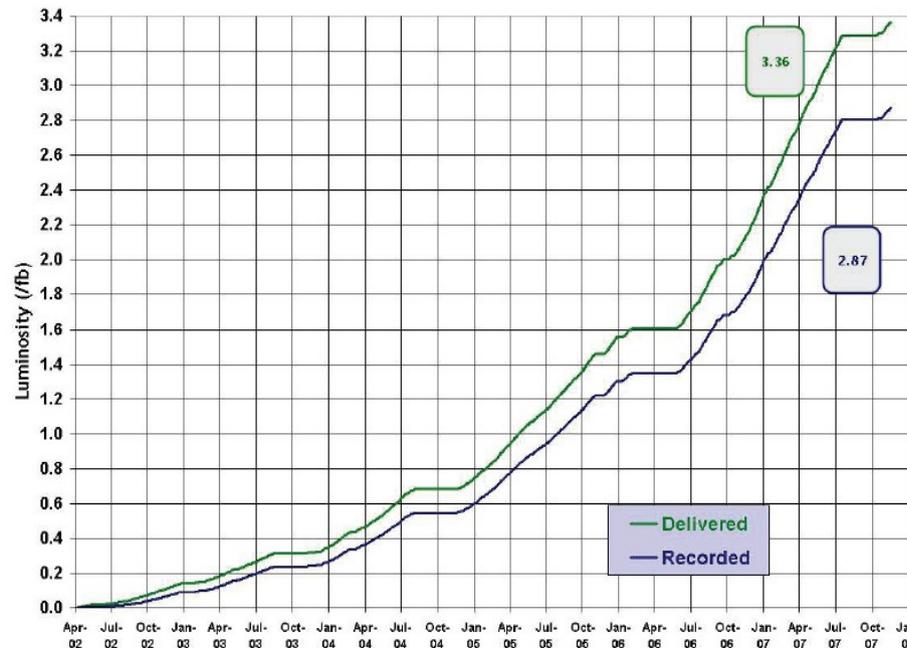
Conclusion

- Recherche du boson de Higgs standard dans le canal WH par l'expérience DØ avec 1.7 fb^{-1} : pas d'excès observé

→ Calcul de limites : **1.4 pb** (observee) pour un boson de Higgs de **115 GeV**

- Gain significatif en sensibilité avec utilisation d'un réseau de neurones

Integrated Luminosity (fb^{-1})



2.87 inv. fb déjà sur bande

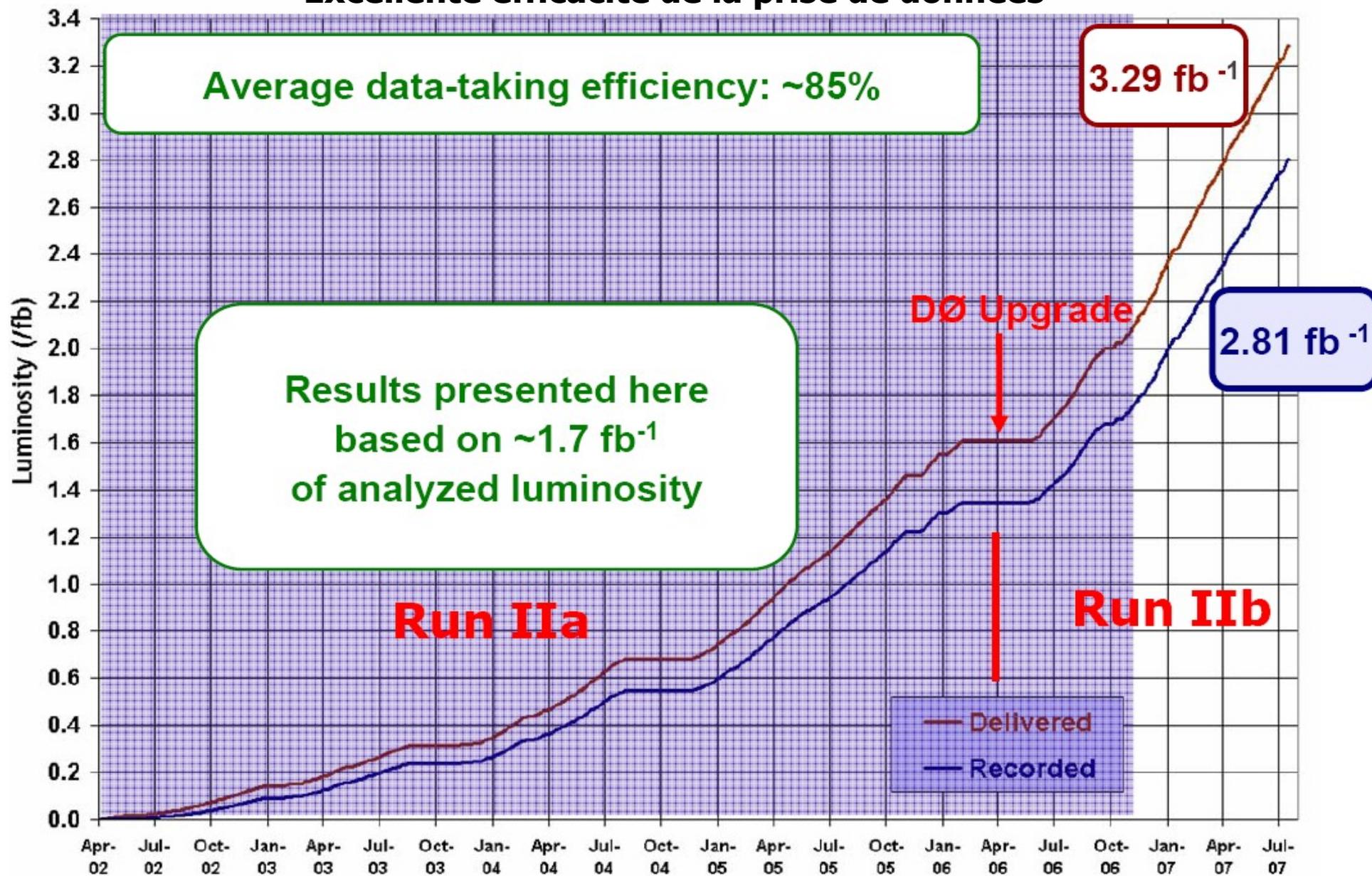
8 en 2009

**Complementarite
Tevatron (bb) / LHC ($\gamma\gamma$)**

backup

Luminosite integree

Luminosite integree collectee par DØ
Excellente efficacite de la prise de donnees



Défis expérimentaux

- Découverte (ou exclusion) du Higgs **possible** au Tevatron
- Mais **gros défi expérimental**
 - Faible acceptation en signal et faible rapport signal / bruit de fond

Typical events in 1 fb^{-1} ($l = e, \mu$)	ZH \rightarrow llbb	ZH \rightarrow vvbb	WH \rightarrow lvbb	H \rightarrow WW \rightarrow lvlv
Signal Produced	5	15	30	20
Signal Accepted	1	2	3	4
Background	100	300	500	300

Quelques chiffres typiques montrés ici, mais :

... **Une petite augmentation du signal peut entraîner une forte augmentation du bruit de fond**

... On peut **ajouter des coupures** pour faire monter le rapport signal / bruit

Sélection des événements

*Electrons CC

- ◆ Loose
 - Isolation < 0.15
 - EMF > 0.9
 - $\eta < 1.1$
 - $p_T > 15 \text{ GeV}$
 - χ^2 of E/P track match > 0
 - Track $p_t > 5 \text{ GeV}/c$
 - at most 1 loose electron (Z veto)
 - HMX7CC < 50
- ◆ Tight = loose +
 - Lhood > 0.85

*Primary vertex

- at least 3 attached tracks
- $z < |60| \text{ cm}$

* $h_T > 60 \text{ GeV}$

*Triangle cut $d\Phi(\text{lep}, \text{MET})$ vs MET

*Muons

- ◆ Loose
 - medium quality
 - nseg==3
 - $\eta < 2$
 - $\chi^2 < 4$
 - dcaSMT < 0.02
 - dcaNoSMT < 0.2
 - $p_T > 15 \text{ GeV}$
 - $dR(\text{muon}, \text{goodJets}) > 0.5$
 - at most 1 loose muon (Z veto)
- ◆ Tight = loose +
 - etHaloScaled < 0.08
 - etTrkScaled < 0.06

• MET $> 20 \text{ GeV}$

*Jets

- 2 good jets
- $p_{T1} > 25 \text{ GeV}$, $p_{T2} > 20 \text{ GeV}$
- $\eta < 2.5$
- b-tagged

Bruit de fond “QCD”

♦ Bruit de fond instrumental lie a la production multi-jet : objets mal identifies

- ★ Canal electron : jets a hauts depots d'energie dans la partie electro-magnetique du calorimetre, identifies comme des electrons
- ★ Canal muon : muon non-isoles (par exemple provenant d'une desintegration semi-leptonique d'un hadron) reconstruits comme isoles et faussement identifies comme provenant de la desintegration d'un W

♦ Estimation statistique a partir de donnees via la “methode de la matrice”

$$\begin{aligned} N_{\text{loose}} &= N_l + N_{\text{QCD}} \\ N_{\text{tight}} &= \epsilon_{\text{lt}} N_l + p_{\text{fake}} N_{\text{QCD}} \end{aligned}$$

ϵ_{lt} , efficacite de la coupure stricte, et p_{fake} , probabilite d'avoir un “faux” lepton (un jet pour le canal electron, un muon non isole pour le canal muon)

N_{loose} = nombre total de leptons “loose” mesures

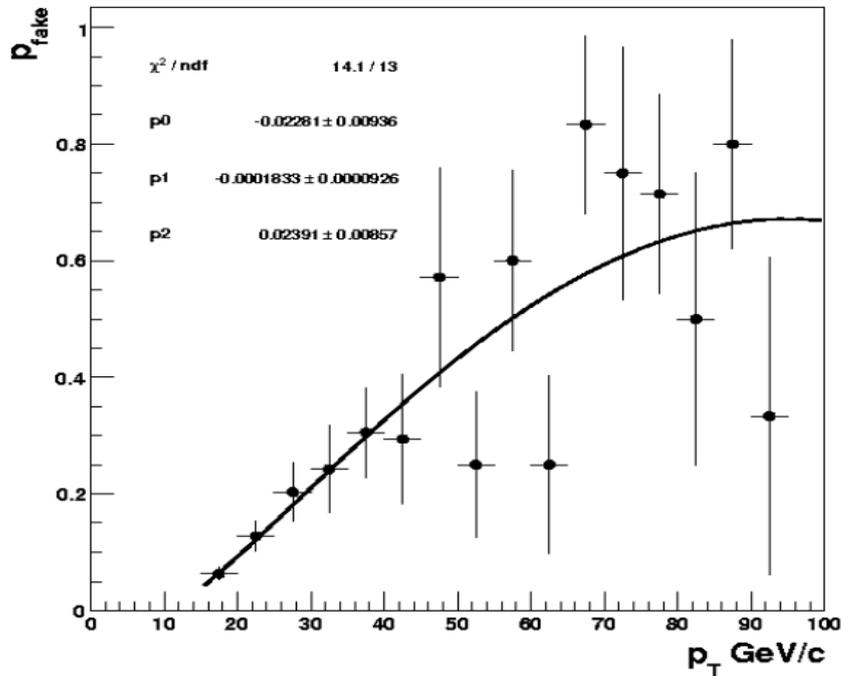
N_{tight} = nombre total de leptons “tight” mesures

N_l = nombre de vrais leptons “loose”

N_t = nombre de vrais leptons “tight”

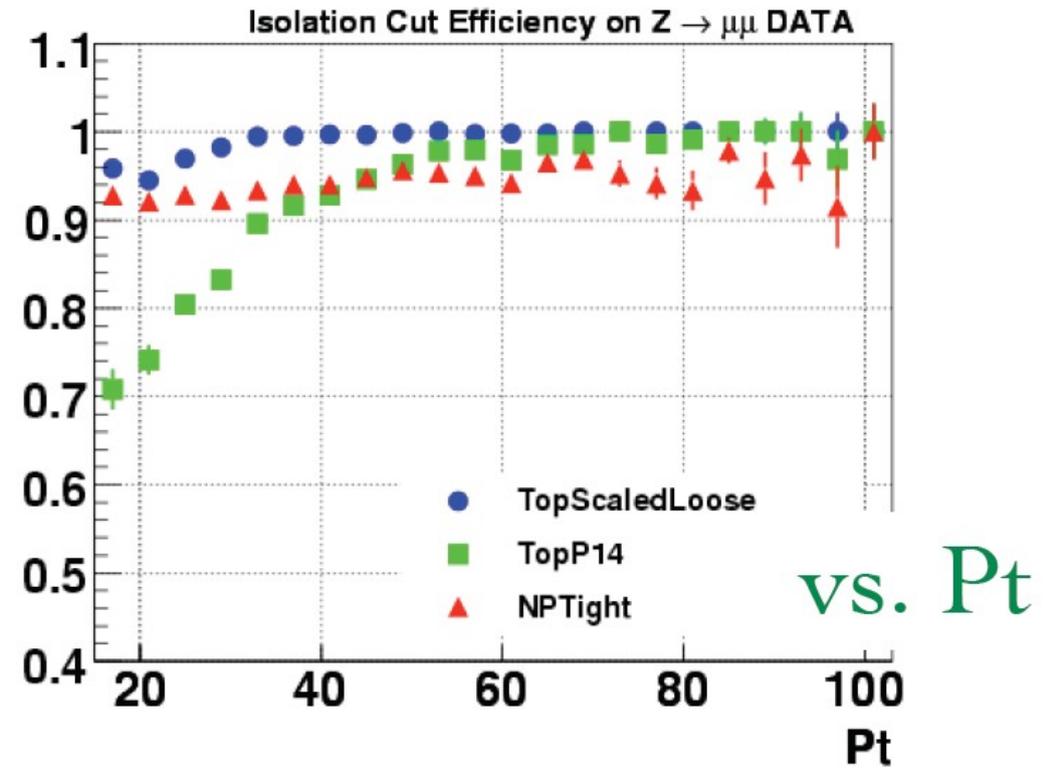
Bruit de fond "QCD" (II)

ϵ_{lt} et p_{fake} dependent fortement de l'impulsion transverse du lepton



p_{fake} vs. p_T du muon

ϵ_{lt} vs. p_T du muon



Limit setting procedure

- ▶ In the absence of signal, we set limits on Standard Model Higgs boson production
 - We calculate limits via the **CLs prescription**

$$CL_s = \frac{CL_{s+b}}{CL_b}$$

- Using a **Log-Likelihood Ratio** test statistic

$$Q(\vec{s}, \vec{b}, \vec{d}) = \prod_{i=0}^{N_{Chan}} \prod_{j=0}^{N_{bins}} \frac{(s+b)_{ij}^{d_{ij}} e^{-(s+b)_{ij}}}{d_{ij}!} / \frac{b_{ij}^{d_{ij}} e^{-b_{ij}}}{d_{ij}!}$$

$$LLR = -2 \times \text{Log} Q$$

d_{ij} refers to observed number of data for model being tested

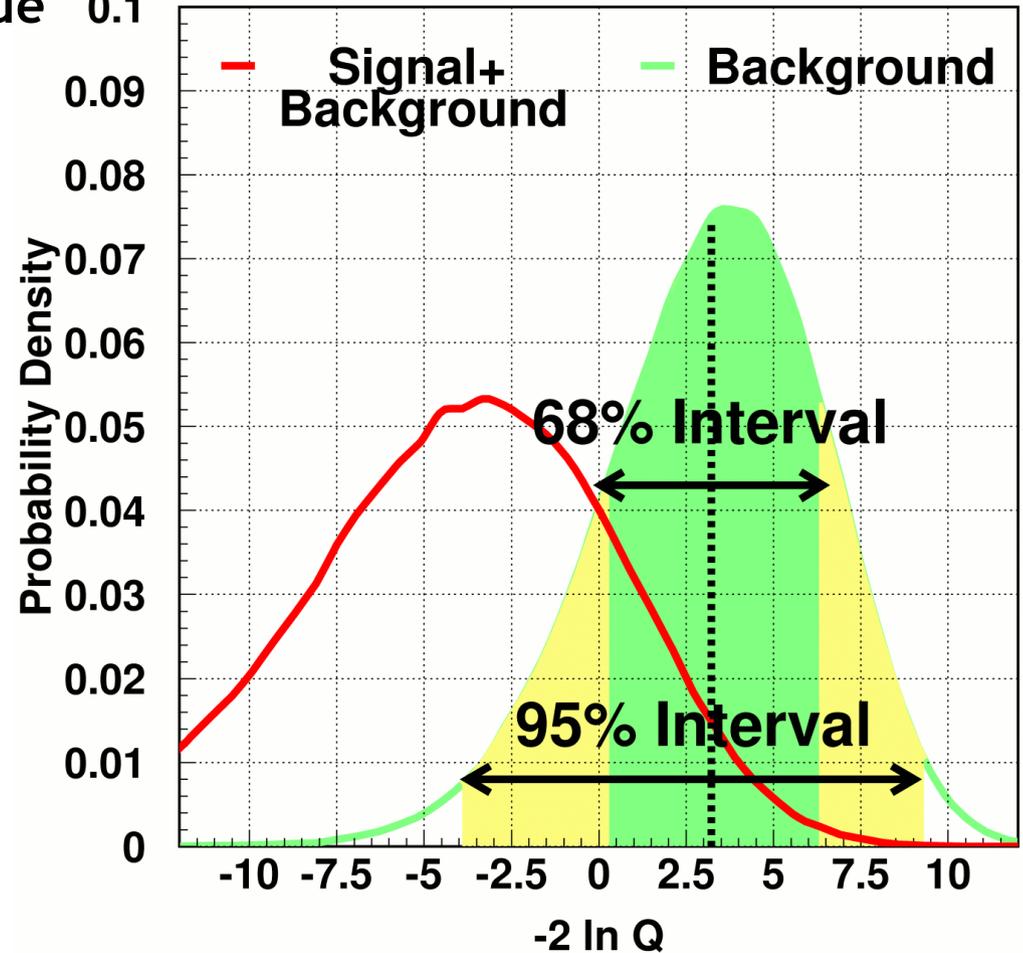
$s = \text{signal}, b = \text{background}$

- ▶ Distributions of simulated outcomes are populated via Poisson trial with mean values given by B-only or S+B hypotheses
 - ➔ Fold in systematics
 - ➔ Correlations held amongst signals and backgrounds

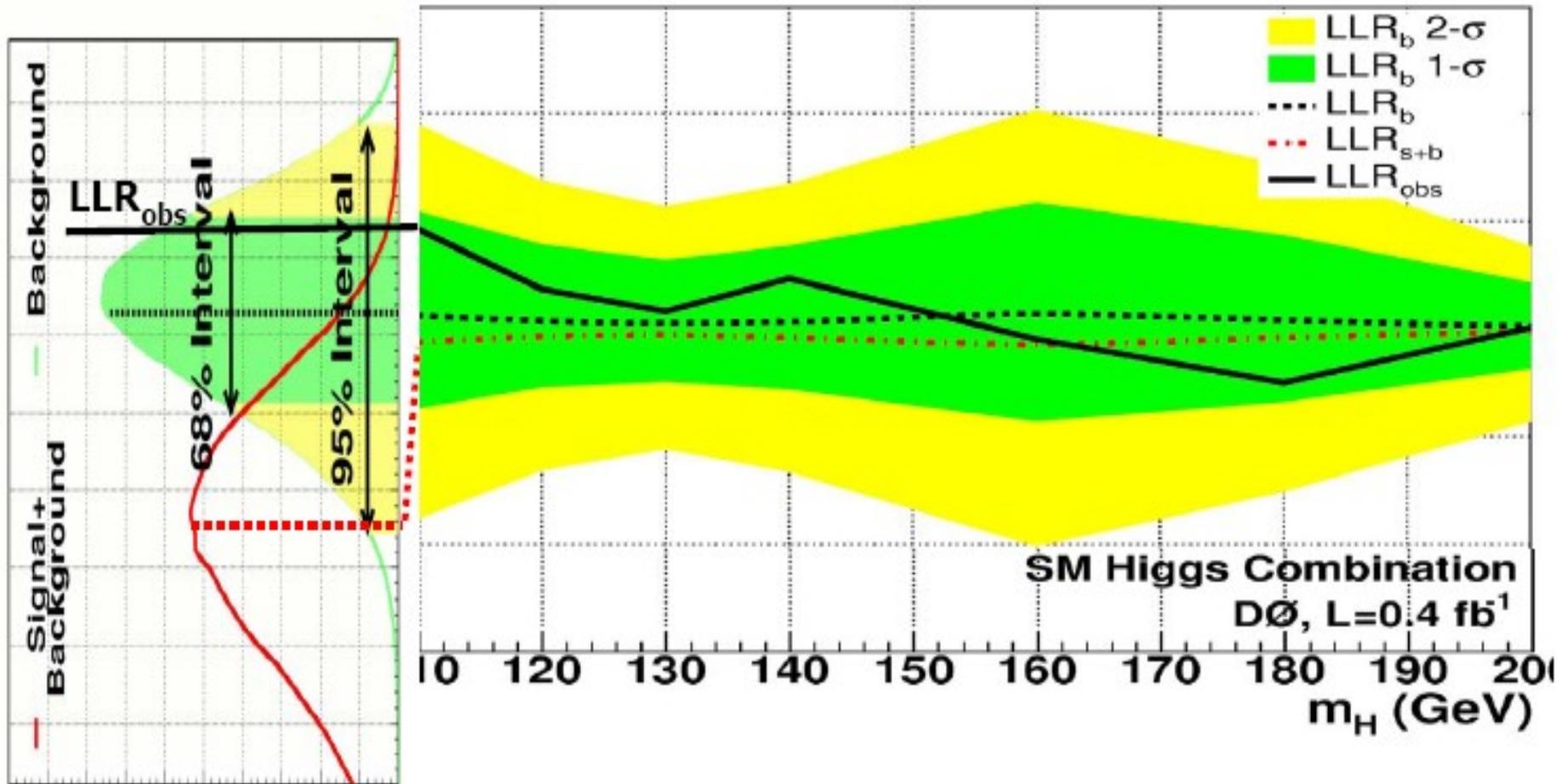
CL_s in pictures

- ▶ Black dashed line: Observed LLR value (LLR_{obs})
- ▶ Green: background-only hypothesis
 - CL_b is region to right of LLR_{obs}
 - ▶ Good background / data agreement is crucial
- ▶ Red: Signal+bkgd hypothesis
 - CL_{s+b} is region to right of LLR_{obs}

Example LLR Distributions



CL_s in pictures (II)



DØ combination, 0.4 fb^{-1}

arXiv:0712.0598

LLR WH

LLR

