



Recherche du boson de Higgs dans le canal WH dans l'expérience DØ auprès du Tevatron

Jonathan Brown (LPNHE Paris) JRJC @ Barbaste 01/12/2009

Directeur de thèse : Gregorio Bernardi

Plan

- Introduction
 - Théorie
 - Phénoménologie
 - Tevatron & DØ
- L'analyse WH
 - Sélection des événements
 - Modélisation du bruit de fond?? QCD
 - Optimisation du S/B (btag)
 - Réseau de neurones et techiniques avancées
 - Calcul de la limite WH
- Combinaison Higgs au Tevatron
- Service work JER

Le boson de Higgs : motivation théorique

- Le Modèle Standard est testé et confirmé depuis de nombreuses années auprès des expériences,
- La masse des particules serait nulle sans l'ajout d'un terme supplémentaire au Lagrangien : génération de la masse des bosons vecteurs massifs par le mécanisme de brisure de symétrie électrofaible, les fermions acquièrent leur masse par un couplage de Yukawa avec ce champ,
- Introduction du Lagrangien du champ de Higgs (potentiel en "chapeau mexicain" et d'un doublet de champ scalaire complexe. Après brisure de symétrie, il reste un d.d.l. avec un terme de masse → le boson de Higgs
- Recherche directe à LEP:
 - M_H >114.4 GeV @ 95% CL
- Recherche indirecte (mesure de précision, masse du W, masse du top...)
 - M_H < 154 GeV @ 95% CL</p>

Un boson de Higgs standard est favorisé par la théorie et par l'expérience



Production et désintegration du boson de **Higgs au Tevatron**



A haute masse (M_H > 135 GeV), désintegration dominante: $H \rightarrow WW^{(*)}$

$$gg \rightarrow H \rightarrow WW \rightarrow \ell \nu \ell' \nu'$$

A basse masse (M_H < 135 GeV), désintegration dominante: $H \rightarrow bb$ b jet $q\overline{q}' \rightarrow WH \rightarrow \ell v b\overline{b}$ b jet

$$q\overline{q} \rightarrow ZH \rightarrow \ell^{+}\ell^{-}bb$$
$$q\overline{q} \rightarrow ZH \rightarrow v \overline{v} \overline{b}\overline{b}$$

4





→ WH (0.2-0.03 pb)



Η

W

qχ



Le Tevatron et le détecteur DØ



Sélection des événements pour l'analyse $WH \rightarrow \ell vbb$

- Un lepton isolé (electron ou muon)
 - $p_{T} > 15 \text{ GeV}$
 - $|\eta| < 2.5$ (2.0 pour le canal muon)
- Energie manquante (𝔼_T > 20 GeV) provenant du neutrino
- Evénements avec exactement 2 ou 3 jets
 - p_T > 20 GeV
 - |η| < 2.5
- Coupures additionnelles:
 - Veto sur un deuxième lepton
 - H_T > 60 (80) GeV pour l'ensemble à 2 (3) jets
 - Coupure triangulaire : $M_{T}(W) > 40 0.5 \cdot E_{T}$



Reconstruction du boson W

Reconstruction d'une paire de jets (avec un jet additionnel provenant du rayonnement de gluon)



Signal et bruits de fond

- Signal:
 - WH \rightarrow ℓ vbb généré par PYTHIA et ZH \rightarrow $\ell\ell$ bb
- Bruits de fond physiques:
 - W/Z + jets → lvjj (jets provenant de quarks u, d, s ou d'un gluon), lvcc, lvbb : générés par ALPGEN + PYTHIA, normalisation à partir des données
 - tt $\rightarrow \ell \ell$ et tt $\rightarrow \ell$ +jets : générés par ALPGEN + PYTHIA
 - Single top : généré par CompHEP + PYTHIA
 - Diboson (WW + WZ + WW) : généré par PYTHIA
- Bruit de fond instrumental
 - QCD (ou Multijets) : un jet est reconstruit comme un lepton de plus basse impulsion => "fake lepton + E_T", déterminé à partir des données uniquement

Variables cinématiques



Bon accord données/MonteCarlo après repondération de η_{jet1} , η_{jet2} , ΔR (jet1, jet2)

Optimisation du rapport S/B et étiquetage des jets de quarks b

- L'état final contient une paire de jets,
- Désintegration $H \rightarrow bb$,
- L'étiquetage des jets issus de quarks b permet de s'affranchir du bruit de fond de manière importante

Outil de la collaboration DØ : NN b-tagger → combinaison de différentes observables dans un réseau de neurones



Réduction nette du bruit de fond mais pas de gain suffisant sur la sensibilité \rightarrow Utilisation de la technique des réseaux de neurones

Displaced Tracks

Secondary Vertex

Primary Vertex

Composition en signal et bruit de fond

	W + 2 jets	W + 2 jets	W + 2 jets	W + 3 jets	W + 3 jets	W + 3 jets
		(1 <i>b</i> -tag)	(2 <i>b</i> -tag)		(1 <i>b</i> -tag)	(2 <i>b</i> -tag)
WH, ZH	24 ± 4	9.9 ± 1.0	$6.5~\pm~0.6$	5 ± 1	2.1 ± 0.2	0.8 ± 0.1
WW, WZ, ZZ	2208 ± 371	146.1 ± 12.5	22.1 ± 1.9	430 ± 72	29.5 ± 2.6	2.3 ± 0.2
$W/Z + b\bar{b}$	2544 ± 508	1030.6 ± 186.3	292.6 ± 53.2	748 ± 149	230.2 ± 41.6	39.1 ± 7.1
$t\bar{t}$	1114 ± 187	447.2 ± 50.4	201.1 ± 22.9	1551 ± 260	632.0 ± 71.3	181.6 ± 20.6
Single top	$463~\pm~77$	198.8 ± 21.0	55.4 ± 5.9	128 ± 21	52.1 ± 5.5	12.4 ± 1.3
Multijet	10707 ± 1884	575.9 ± 119.8	$47.5~\pm~9.9$	$3420~\pm~602$	183.1 ± 38.1	$14.0~\pm~2.9$
W/Z + jets	68325 ± 8745	$1766.0\ \pm\ 224.6$	$101.0~\pm~18.6$	13204 ± 1690	327.4 ± 41.0	17.1 ± 3.2
Total expectation	84142 *	4174 ± 440	726 ± 88	18149 *	1456 ± 144	277 ± 28
Observed Events	84142	4162	707	18149	1480	305

Technique des réseaux de neurones (NN)

- But : classification d'un ensemble de données décrites par des variables,
- Principe : en entrée, variables caractérisant un événement d'une classe donnée (signal ou bdf); Possibilité de modéliser une fonction quelconque grâce à un NN ; en sortie, variable discriminante ∈ [0,1] (0 = bdf, 1 = signal),
- Constitué de :
 - Une couche de neurones où sont introduites les variables d'entrée,
 - Un neurone en sortie,
 - Une ou plusieurs couches cachées de neurones,
 - Chaque neurone est relié à tous les neurones de la couche supérieure et fait une somme pondérée (à chaque connexion correspond un poids) des valeurs qu'il a en entrée,



Technique des réseaux de neurones (NN)



Entrainement d'un réseau de neurones discriminant le signal WH du bruit de fond principal (irréductible) Wbb, pour le canal e ou µ séparemment

choix de 7 variables discriminantes en entrée, 7 neurones cachés



Limite sur la production du boson de Higgs

Utilisation de la distribution du NN pour les canaux en 2 jets et masse invariante pour les canaux en 3 jets





Utilisation de la méthode CL_s (fréquentiste) prenant en compte les incertitudes systématiques

m_H	expected	observed
(Gev)	95% C.L. Limit/SM	95% C.L. Limit/SM
	expected	observed
100	3.5	5.8
105	4.0	5.9
110	4.3	6.5
115	5.1	6.9
120	6.2	8.6
125	7.7	10.0
130	9.4	10.7
135	12.3	13.5
140	17.3	16.3
145	25.9	26.4
150	41.0	40.7

$$\sigma(p\bar{p} \to WH) \times B(H \to b\bar{b})$$

Combinaison Higgs au Tevatron



Combinaison des expériences CDF et DØ, soit 90 états finals différents

Exclusion entre 163 et 166 GeV

Jet Energy Resolution

- A basse masse le boson de Higgs se désintègre majoritairement en une paire de quark b → 2 jets de quarks b majoritairement dos-à-dos,
- Résonance étroite,
- Pourtant dans l'analyse WH :



Comment corriger la mesure en énergie des jets et améliorer la résolution de la masse invariante des 2 jets?

Quelles corrections apporter?

- CPS : prendre en compte l'énergie déposée dans le CPS
- Caltrk : combiner l'énergie mesurée par le calorimètre et par les traces dans le tracker
- Hmatrix : combinaison de différentes observables pour revenir à l'énergie au niveau partonique
- Semileptonique : ~20% des jets de quarks contiennent un muon et un neutrino dans la chaîne de désintégration du hadron b originel
- Correction pour les jets légers/lourds
 - Dérivé à partir des données Monte Carlo,
 - Combinaison de corrections et optimisé pour chaque cas. Doit être testé maintenant sur les données dans le cadre de l'analyse WH,



Conclusion

- Recherche d'un état final avec un lepton, de l'énergie transverse manquante et des jets de b,
- Section efficace très petite,
- Canal difficile à exploiter au LHC,
- Le canal WH est le plus sensible pour la recherche du boson de Higgs à DØ,
- Limite obtenue : $\sigma(WH) \ge B(H \rightarrow bb) = 6.9 (5.1) \ge \sigma_{_{SM}} (M_{_H} = 115 \text{ GeV})$ avec 5.0 fb⁻¹ analysés
- Prospectives au Tevatron : run jusqu'en 2012 (2013 ??) → au moins 10 (12) fb⁻¹ pouvant mener à une exclusion du boson de Higgs dans la gamme 115 185 GeV ou une première évidence?
- Je vais continuer à me concentrer sur :
 - les techniques avancées (construction d'un NN WH vs. tt et combinaison avec le NN WH vs. Wbb, Random Forest, ...)
 - Résolution en énergie des jets

BACKUP SLIDES

Estimation du bruit de fond QCD

Erreurs systématiques pour l'analyse WH

	WH	WZ/WW	Wbb/Wcc	Wjj/Wcj	$t\bar{t}$	s-top	QCD
EM Trigger eff.	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
EM ID/Reco eff/res.	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
Primary Vertex/misc.	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	
Jet multiplicity	5.0		5.0	5.0	5.0		
Jet Energy Scale	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
Jet ID/SSR	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	
ALPGEN reweighting(shape)			5.0	5.0			
Lumi reweighting	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
Jet taggability	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
NN-tagger S.F.	5.0	5.0	5.0	20.0	5.0	5.0	
Cross Section	6.0	6.0			10.0	12.0	
Normalization			20.0	5.0			
Total uncertainty	11.9	10.8	22.7	16.0	14.2	13.3	26.0

	WH	WZ/WW	Wbb/Wcc	Wjj/Wcj	$t\bar{t}$	s-top	QCD
Muon Trigger eff.	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	
Muon (iso.) ID/Reco eff.	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
Muon track match eff. SF	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
Muon energy/smearing	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
Primary Vertex/misc.	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	
Jet multiplicity	5.0		5.0	5.0	5.0		
Jet Energy Scale	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
Jet ID/SSR	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	
ALPGEN reweighting(shape)			5.0	5.0			
Lumi reweighting	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
Jet taggability	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
NN-tagger S.F.	5.0	5.0	5.0	20.0	5.0	5.0	
Cross Section	6.0	6.0			10.0	12.0	
Normalization			20.0	5.0			
Total uncertainty	12.9	11.8	23.1	16.6	14.9	14.1	26.0

Variables cinématiques (3 jets)

Random Forest

• "Forêt" d'arbres de décision





Amélioration d'environ 30% de la limite pour M_{H} = 115 GeV