La Recherche du Higgs au TeVatron

Phénoménologie du Higgs

- Modèle Standard
- Modèle Supersymétrique Minimal
- Stratégies de recherche

Recherche directe du Higgs

- Outils d'analyse
- Canaux standard
- Canaux supersymétriques
- Prospectives

Recherche indirecte du Higgs

- Observables
- Les Mesures de précision
- Prospectives

Phénoménologie du Higgs au TeVatron

1. Higgs dans le Modèle Standard

2. Higgs dans le MSSM

Le Higgs dans le Modèle Standard

Le Higgs dans le Modèle Standard (MS)

- Echelle de brisure de symétrie électrofaible:
  - $v = (\sqrt{2}G_F)^{-1/2} \cong 246$ GeV
  - v est la valeur moyenne ds vide $\langle\Phi\rangle_0 = 1/\sqrt{2}\begin{pmatrix}0\\v\end{pmatrix}$
- Masses des bosons:

$$m_W = \frac{gv}{2} \qquad m_Z = \frac{gv}{2\cos\theta_W}$$

- Masse des fermions: (couplage de Yukawa)

Couplage en $g_f v/\sqrt{2}\, f\bar{f}$ d'où: $m_f = g_f\, v/\sqrt{2}$

⇨ Masse du Higgs = paramètre libre du MS: $m_H = \sqrt{\lambda}\, v$

Contraintes expérimentales:

- Vérifie ρ ($\equiv M_W/M_Z\cos\theta_W$) = 1 ← Ordre 0 du MS !
  - Si multiplet i de Higgs (Y_i , I_i) avec v_i alors:

$$\rho = \frac{\Sigma\, v_i^2\ \mathrm{I}\ I_i(I_i+1)-(Y_i^2/4)\ \mathrm{I}}{\Sigma\, v_i^2\ (Y_i^2/2)}$$

(Taxil, Gif 90)

  - Solutions possibles:

$$I_i(I_i+1) = 3(Y_i^2/4) \qquad \rho = 1$$

- Pas de courant neutre changeant saveur (Glashow,Weinberg)

⇨ (I,Y)= (1/2,1) automatiquement OK, $\forall i$

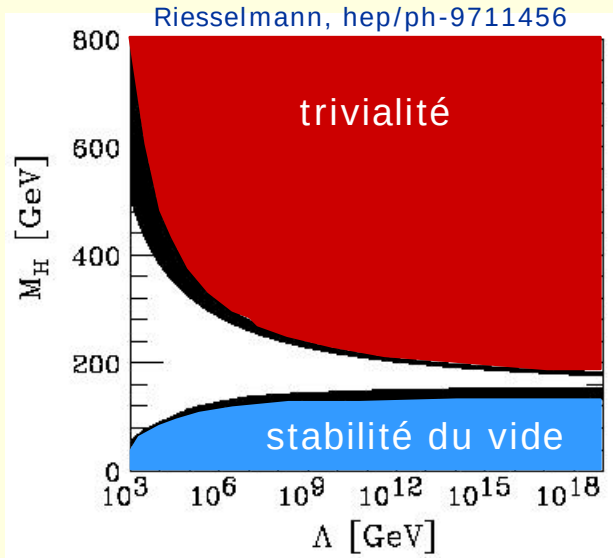
Masse du Higgs : contraintes théoriques

Unitarité

- Diffusion de bosons
  - $\sigma(V_L V_L \rightarrow V_L V_L)$ diverge
  - $\rightarrow$ Contribution du Higgs
- Unitarité si:

$$m_H \leq (2\sqrt{2}\pi / G_F)^{1/2} \leq 700 \text{ GeV}/c^2$$

Riesselmann, hep/ph-9711456



Trivialité

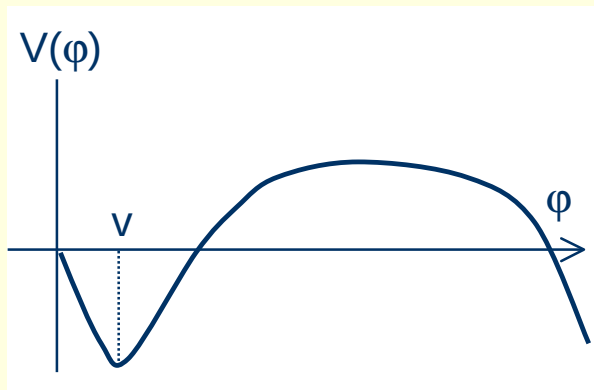
- Evolution de $\lambda(\Lambda)$: EGR
  - $\lambda > 1$ pour $\Lambda \sim \Lambda_L$(landau)
  - $\lambda < 1$ valable $\lambda(\Lambda_L) \rightarrow \infty$

$$m_H < 8\pi^2 v^2 / 3 \log(\Lambda^2/v^2)$$

R. Cahn / cours GIF

Stabilité du vide

- $V(\varphi)$ doit avoir un "minimum absolu"
  - $\partial V(\varphi) / \partial\varphi > 0$
  - $\Leftrightarrow \lambda(\Lambda) > 0$
  - $\Leftrightarrow m_H(\Lambda) > M_{min}$



$$m_H > 52 \text{ GeV}/c^2 \text{ à } \Lambda = 1\text{TeV}$$

Masse du Higgs Standard: contraintes expérimentales

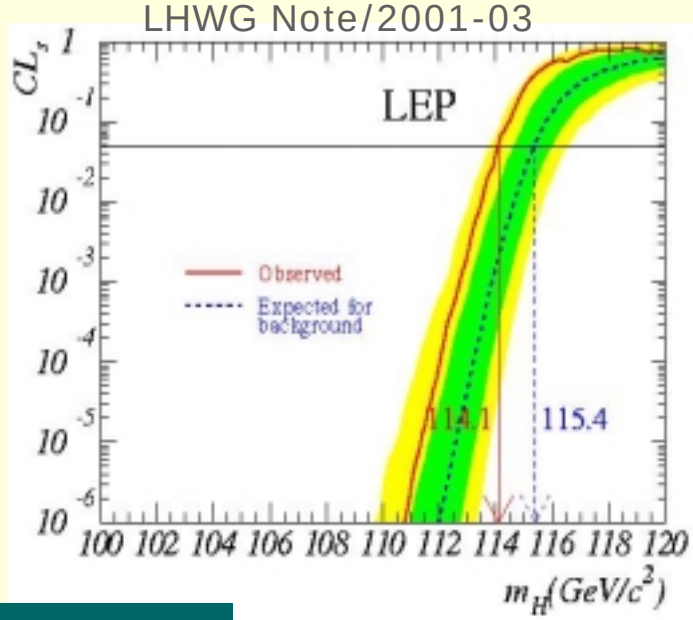
Recherches directes

- Recherches LEP:
  - $e^+e^- \rightarrow HZ$
  - $ZH \rightarrow b\bar{b}\, l\bar{l}$
  - $ZH \rightarrow b\bar{b}\, q\bar{q}$

⇨ Exclusion à 95% CL: $m_H > 114.1$ GeV/c²

⇨ Candidats « Higgs » $m_H = 115$ GeV/c²

LHWG Note/2001-03



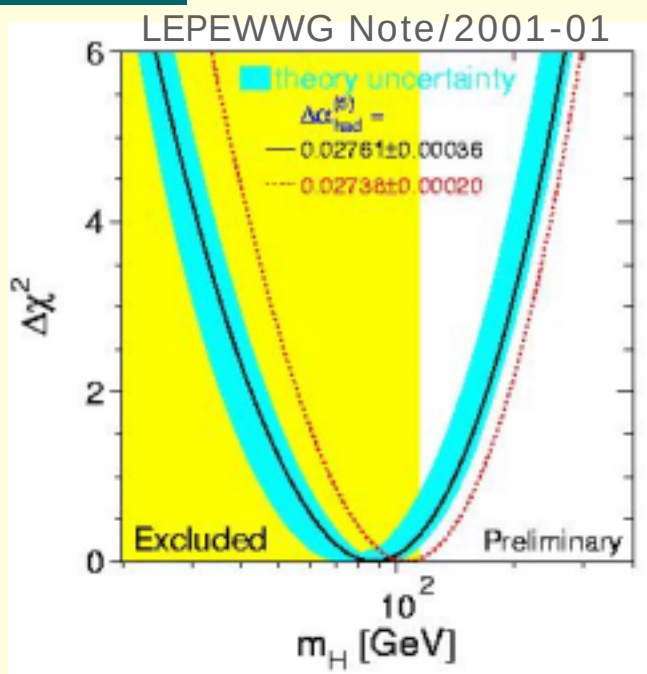
P. Lutz / cours GIF

Contraintes indirectes

- LEP+SLAC+TeVatron
- Détermination de:
  - m_Z , m_W , m_t
  - $\sin^2\theta_W$, α_{EM}
- Ajustement dans le MS:
  - m_H , χ^2

⇨ Favorise un Higgs $m_H < 300$ GeV/c²

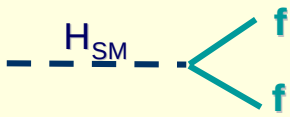
LEPEWWG Note/2001-01



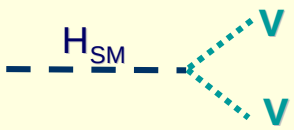
Désintégrations du Higgs au TeVatron (MS)

Largeurs de désintégration

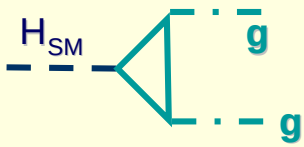
$x = 4m^2/m_H^2$



$$\Gamma(H_{SM} \to ff) \propto N_C \sqrt{2} G_F \, m_H \, m_f^2 (1-x_f)^{3/2}$$

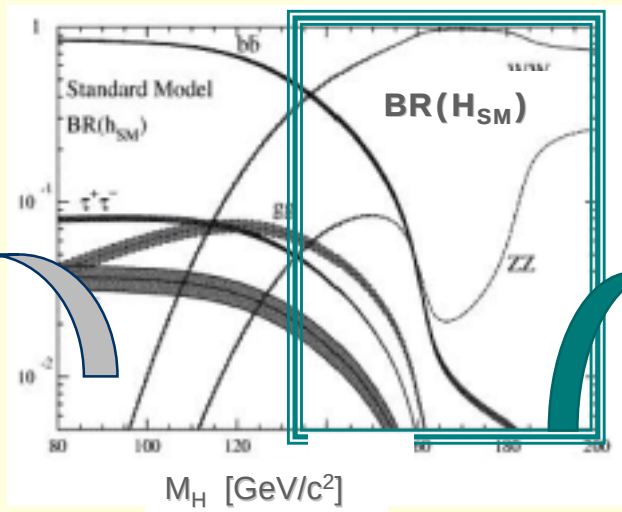


$$\Gamma(H_{SM} \to VV) \propto \sqrt{2} G_F \, m_H^3 \, (3x_V^2 - 4x_V + 4)(1-x_V)^{1/2}/x_V$$



$$\Gamma(H_{SM} \to gg) \propto \sqrt{2} G_F \, \alpha_s^2(m_H) \, m_H^3 \, (1 + O(\alpha_s/\pi))$$

Modes de désintégration



M. Spira / HDECAY

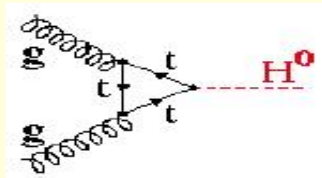
$m_H < 135$ (GeV/c^2)	BR
$H \to bb$	~50-90%
$H \to \tau\tau$	~8%

$m_H > 135$ (GeV/c^2)	BR
$H(\to W^+W^{-*}) \to l^+l^-\nu\nu$	4.5%
$\to l\nu qq'$	61%

Production du Higgs au TeVatron (MS)

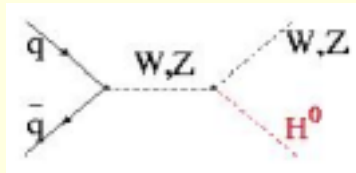
Mode $p\bar{p}$ ($\rightarrow gg$) $\rightarrow H_{SM}$

- $\sigma \sim 1$ pb ie: ~ 1000 evts / fb^{-1}
  - $p\bar{p} \rightarrow b\bar{b}$, $\tau\bar{\tau}$ ($m_H < 135$GeV)
  - $p\bar{p} \rightarrow WW^*$ ($m_H > 135$GeV)



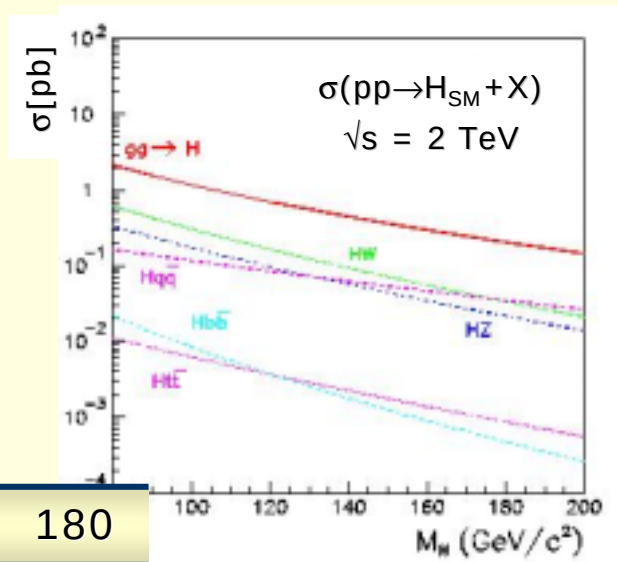
Mode $p\bar{p}$ ($\rightarrow q\bar{q}' \rightarrow V^*$) $\rightarrow VH_{SM}$

- $\sigma \sim 0.2$ pb ie: ~ 200 evts / fb^{-1}
  - $p\bar{p} \rightarrow V\, b\bar{b}$ ($m_H < 135$GeV)
  - $p\bar{p} \rightarrow V\, WW^*$ ($m_H > 135$GeV)



Sections efficaces

- Modes exploitables:
  - $q\bar{q} \rightarrow H_{SM}W$, $H_{SM}Z$
- Modes noyés dans QCD:
  - $q\bar{q} \rightarrow H_{SM} \rightarrow b\bar{b}, \tau\bar{\tau}$
- Sections σ[pb]:



M. Spira / HDECAY

m_H [GeV/c^2]	120	140	160	180
$gg \rightarrow H_{SM}$	0.70	0.45	0.30	0.21
$q\bar{q} \rightarrow H_{SM}W$	0.17	0.09	0.05	0.03
$q\bar{q} \rightarrow H_{SM}Z$	0.09	0.06	0.03	0.02
$q\bar{q} \rightarrow H_{SM}q\bar{q}$	0.08	0.06	0.05	0.04

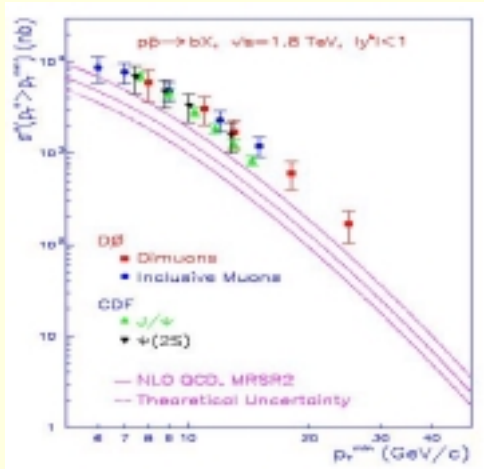
Les fonds au Higgs (MS)

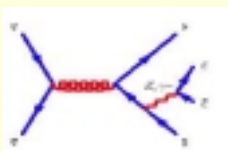
Higgs en VH → llbb (V=W,Z)

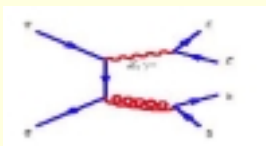
data / théorie ~ 2 !!

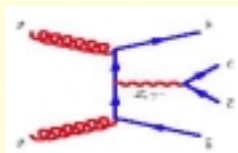
- Production QCD bb
  - $\sigma_{bb} \approx 100\ \mu b$ (~1/1000 σ_{dijet})
  - fond irréductible
- Production W+jets
  - dddd
  - fond irréductible
- Production de bosons
  - ZZ : σ ~ 1240 fb
  - Zbb : σ ~ 5290 fb
  - Wbb: σ ~ 8060 fb

  avec $60 < m_{bb} < 160$ GeV



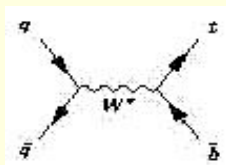


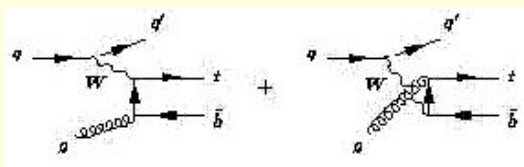




Higgs en H → WW*

- Production di-boson
  - ZZ: σ ~ 1240 fb
  - WZ: σ ~ 3600 fb
- Production de top:
  - paires tt: σ ~ 8000 fb
  - simple t: σ ~ xxx fb





Phénoménologie du Higgs standard

$m_H < 135$ GeV/c^2	$m_H > 135$ GeV/c^2
$p\bar{p} \rightarrow WH \rightarrow l\nu b\bar{b}$ $p\bar{p} \rightarrow ZH \rightarrow \nu\bar{\nu} b\bar{b}$	$p\bar{p} \rightarrow WH \rightarrow l^+l^+l^-\nu\nu\nu$ $p\bar{p} \rightarrow WH \rightarrow jj\ l^+l^-\nu\nu$ $p\bar{p} \rightarrow H \rightarrow l^+l^-\ \nu\nu$
Eléments clefs: – déclenchement leptonique – déclenchement mE_T – étiquetage du b – étalonnage de E_{jet}^b – résolution sur M_{bb}	Eléments clefs: – déclenchement leptonique – déclenchement mE_T – identification leptonique – résolution E_T, mE_T, angles

Phénoménologie du Higgs au TeVatron

1. Higgs dans le Modèle Standard

2. Higgs dans le MSSM

Le Higgs dans SUSY Minimal (MSSM)

Le secteur de Higgs dans le MSSM

– Secteur de Higgs:

2 doublets I=1/2 et Y=1

- Vérifie $\rho = 1$ (ordre 0)
- Pas de courant neutre changeant la saveur

(Taxil, Gif 90)

– 5 états physiques:

- 2 Higgs neutres (CP=+1): h,H avec angle de mélange α
- 1 Higgs neutre (CP=-1): A
- 2 Higgs chargés: H+,H-

Structure du MSSM

– 1 degré liberté MS $\leftrightarrow$ 1 degré liberté SUSY

Particules	Partenaires SUSY	
	e.p. de jauge	e.p de masse
$q = u,d,s,\ldots$	$\tilde{q}_L, \tilde{q}_R$	$\tilde{q}_1, \tilde{q}_2$
$l = e, \mu, \tau$	$\tilde{l}_L, \tilde{l}_R$	$\tilde{l}_1, \tilde{l}_2$
$\nu = \nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$	$\tilde{\nu}$	$\tilde{\nu}$
$W^\pm$, $H^\pm$	$\tilde{W}^\pm, \tilde{H}^\pm$	$\tilde{\chi}^\pm_{1,2}$
γ, Z, h, H, A	$\tilde{\gamma}, \tilde{Z}, \tilde{h}, \tilde{H}, \tilde{A}$	$\tilde{\chi}^o_{1,2,3,4}$
g	$\tilde{g}$	$\tilde{g}$

Masse des Higgs MSSM: contraintes théoriques

Spectre à l'arbre

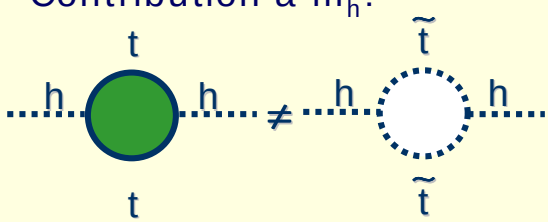
- 2 paramètres libres
  - $\tan\beta = v_u/v_d$
  - m_A (ou masse d'1 Higgs neutre)

$$m_{H\pm}^2 = m_W^2 + m_A^2$$

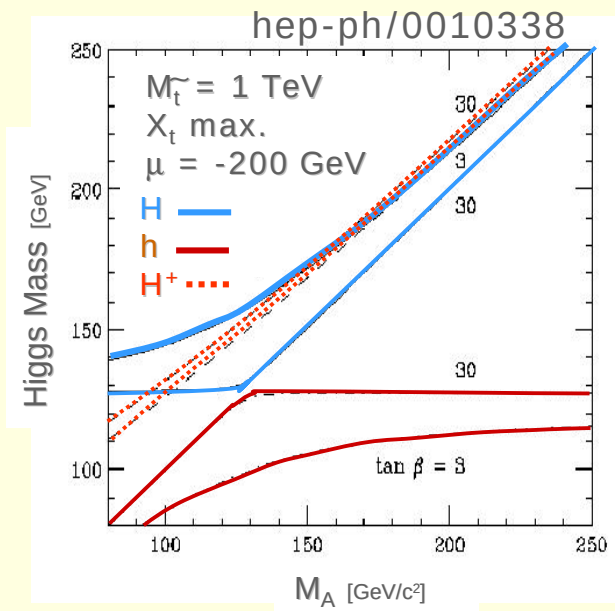
$$m_{H,h}^2 = \tfrac{1}{2}\left(m_A^2 + m_Z^2 \pm \sqrt{(m_A^2+m_Z^2) - 4m_Z^2 m_A^2 \cos^2 2\beta}\right)$$

Spectre / ordres supérieurs

+ 3 paramètres libres:
  - $M_{\tilde{t}}$ = Masse des s-top
  - X_t = angle Mélange $\tilde{t}$
  - μ = Masse des Higgs
- Contribution à m_h:



SUSY est brisée : $M_{\tilde{t}} \neq m_t$



$$m_h^2 \leq m_Z^2 + \frac{3g^2 m_t^4}{8\pi^2 m_W^2}\left(\ln\left(\frac{M_{\tilde{t}}^2}{m_t^2}\right) + X_t^2\left(1 - \frac{X_t^2}{12}\right)\right)$$

0 si $M_{\tilde{t}} = m_t$

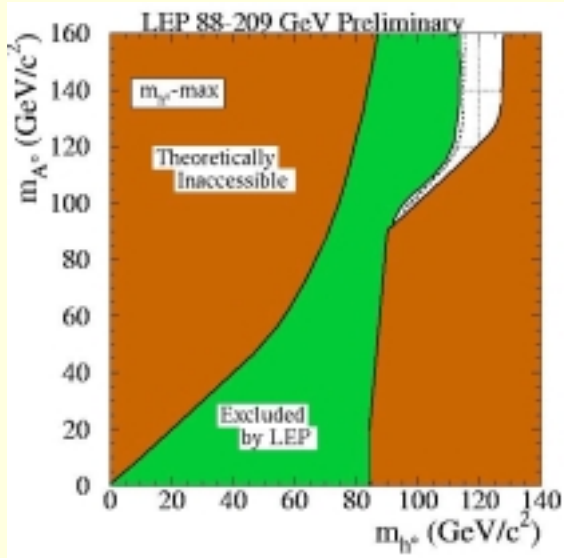
augmente avec X_t

Masse des Higgs MSSM: contraintes expérimentales

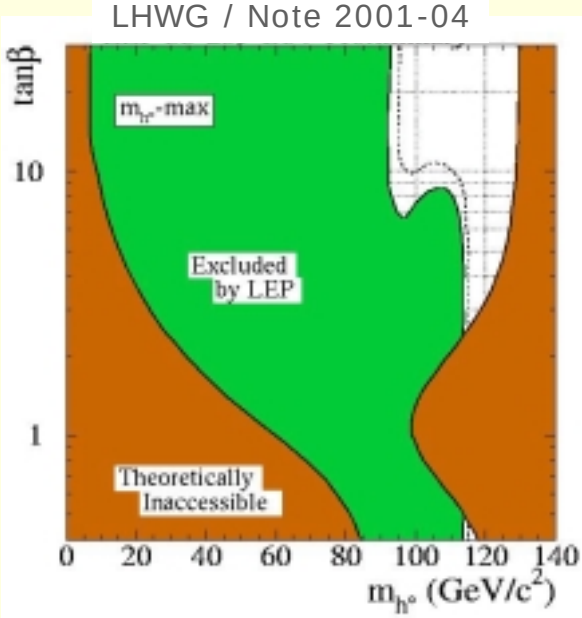
Higgs neutre h

- Recherche directe à LEP
  - Luminosité L = 870 pb^{-1}
  - Energie $\sqrt{s}$ = 200-209 GeV
- Canaux:
  - $e^-e^+ \rightarrow Zh$
  - $e^-e^+ \rightarrow hA$
- Scénarios :
  - mélange maximal entre $\tilde{t}_1, \tilde{t}_2$

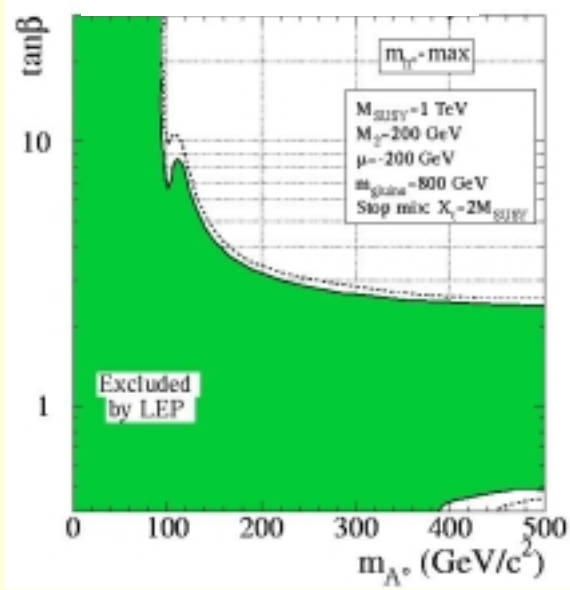
  $\rightarrow$ Cas le plus conservatif



LHWG / Note 2001-04



LHWG / Note 2001-04



$m_h \geq 90.1$ GeV/c^2

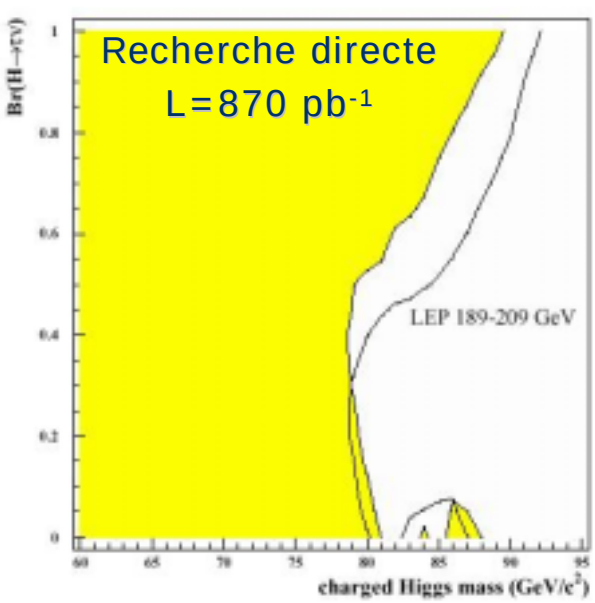
$m_A \geq 91.0$ GeV/c^2 à 95% CL

Masse des Higgs MSSM: contraintes expérimentales

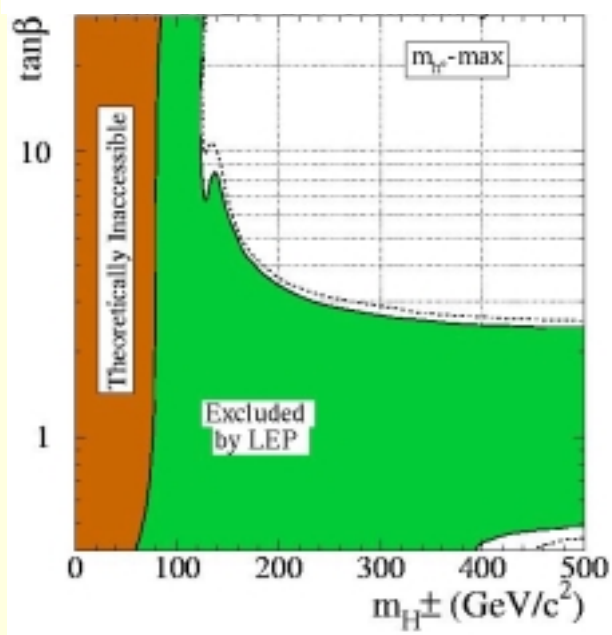
Higgs chargés

- Recherche directe à LEP
  - Luminosité L = 870 pb^{-1}
  - Energie $\sqrt{s}$ = 200-209 GeV
- Canaux:
  - $e^-e^+ \rightarrow H^-H^+$
  - $H^+ \rightarrow c\bar{s}$, $\tau^+\nu$
- Scénarios :
  - fonction des hypothèses sur $BR(H^+ \rightarrow \tau^+\nu)$

LHWG / Note 2001-05



Limite indirecte LHWG/Note 2001-04



$m_{H+} \geq 78.6$ GeV/c^2

Couplages des Higgs MSSM

Couplages des Higgs neutres

– Couplages aux bosons:

- $g_{hVV}^2 + g_{HVV}^2 = (g_{HVV})^2_{SM}$ (unitarité)
- $g_{hVV} = \sin(\beta-\alpha)\,(g_{HVV})_{SM}$ & $g_{HVV} = \cos(\beta-\alpha)\,(g_{HVV})_{SM}$

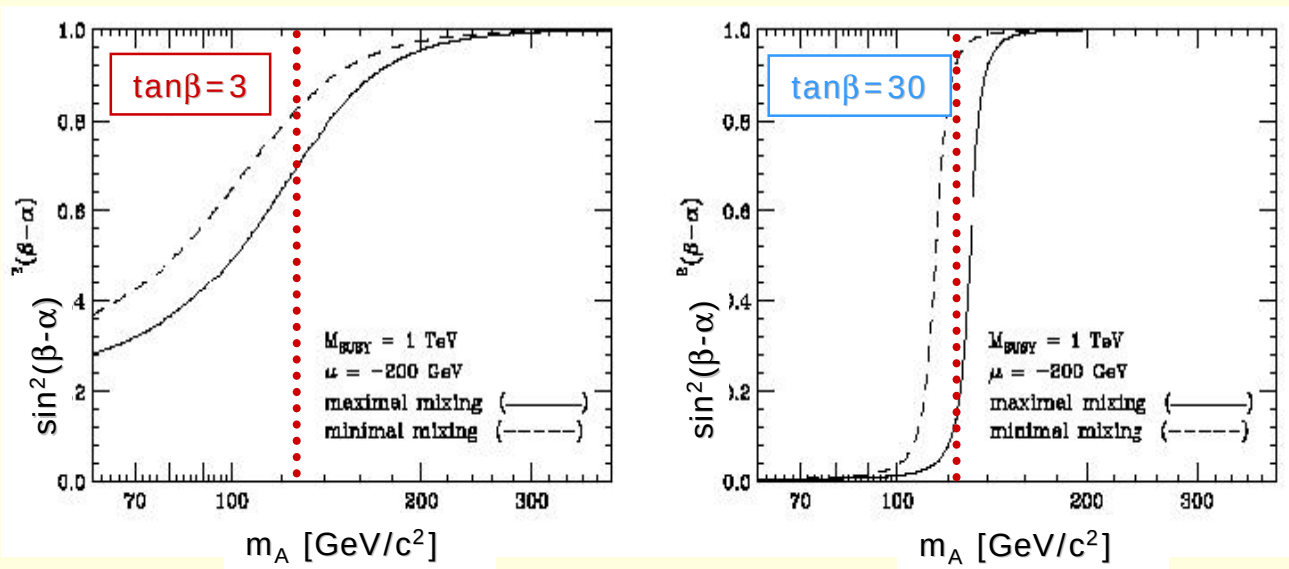
⇨ Couplages MSSM < couplages standard !!

– Couplages aux fermions:

- $g_{huu} = [\sin(\beta-\alpha) + \cot\beta \cos(\beta-\alpha)]\,(g_{Huu})_{SM}$
- $g_{hdd} = [\sin(\beta-\alpha) - \tan\beta \cos(\beta-\alpha)]\,(g_{Hdd})_{SM}$
- $g_{Auu} \propto \gamma^5 \cot\beta$ et $g_{Add} \propto \gamma^5 \tan\beta$

$u\bar{u}, c\bar{c}, t\bar{t}$

$b\bar{b}, d\bar{d}, s\bar{s}, ll$



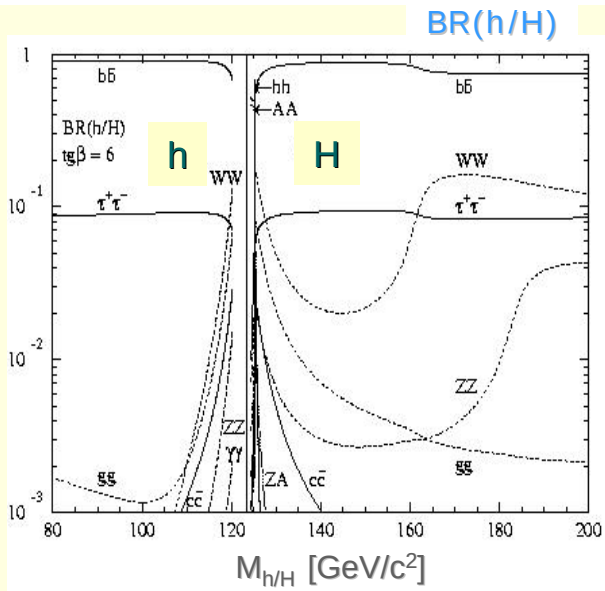
⇨ $m_A > 2\,m_Z$ ("découplage"):

- h se comporte comme H_{SM}
- A,H et $H^{\pm}$ dégénérés et M ~ 1 TeV/c²

Phénoménologie de h/H (tanβ=6)

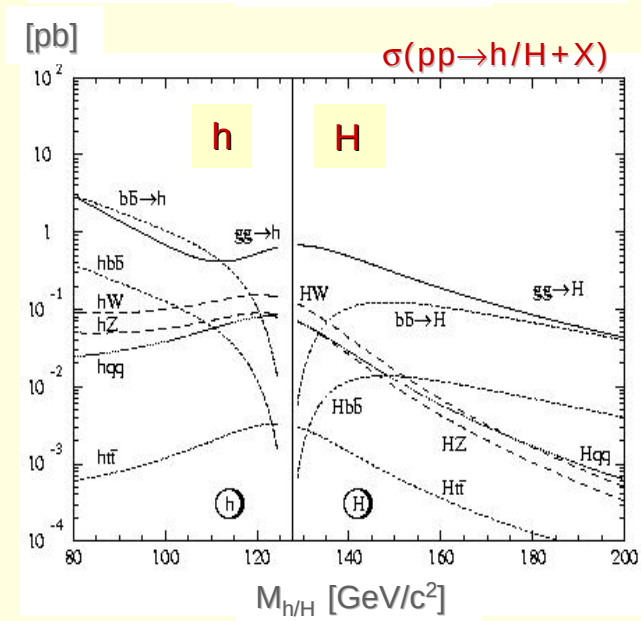
Désintégration des h/H

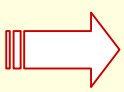
- Higgs léger h:
  - $BR(b\bar{b}) > 90\%$
  - $BR(\tau^+\tau^-) < 8\%$
- Higgs lourd H:
  - $BR(b\bar{b}) > 80\%$
  - $BR(W^+W^-) < 12\%$
  - $BR(\tau^+\tau^-) < 8\%$



Production des h/H

- Higgs léger h:
  - $\sigma(p\bar{p} \to b\bar{b}) \sim 1$ pb
    inexploitable
  - $\sigma(p\bar{p} \to Wh) \sim 0.15$ pb
    = analyse du MS
- Higgs lourd H:
  - $\sigma(p\bar{p} \to Hb\bar{b}) \sim 10$ fb
    état final $b\bar{b}b\bar{b}$





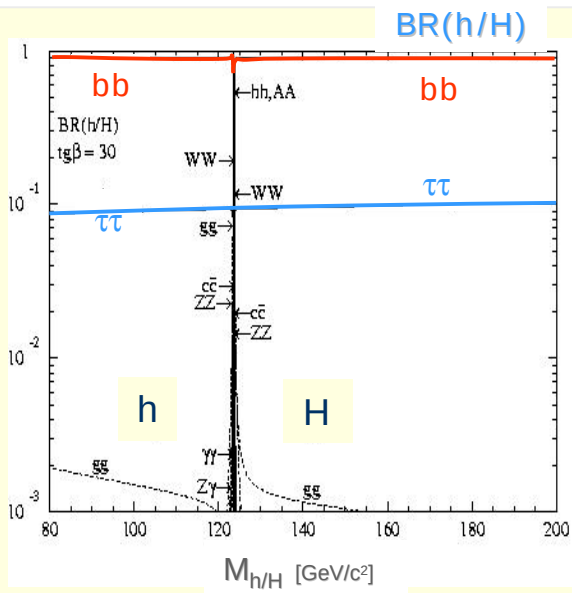
tanβ=6:
- Higgs h: analyse standard
- Higgs H: analyse difficile

Phénoménologie de h/H (tanβ=30)

Désintégration des h/H

- Higgs léger h:
  - $BR(b\bar{b}) > 90\%$
  - $BR(\tau^+\tau^-) < 8\%$
- Higgs lourd H:
  - $BR(b\bar{b}) > 90\%$
  - $BR(\tau^+\tau^-) < 10\%$

⇨ H→WW disparait

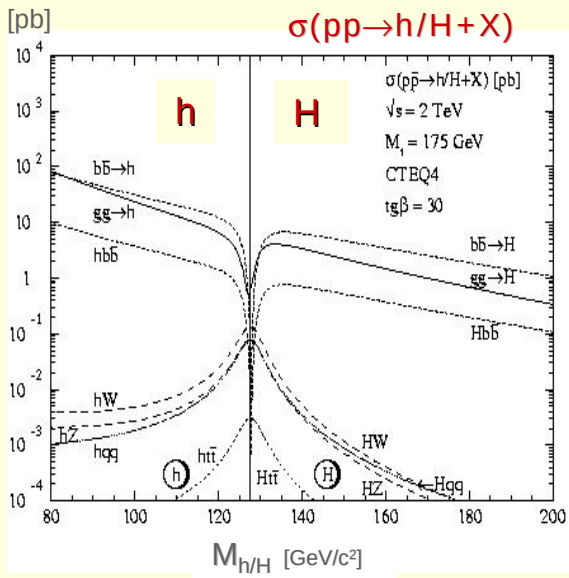


Production des h/H

- Canaux standards impossibles:
  - $\sigma(h\to b\bar{b}) \sim 30\times\sigma(H_{SM}\to b\bar{b})$

  → Mais noyé par QCD
  - $\sigma(Wh)/\sigma(WH_{SM}) < 0.1$

  → devient négligeable
- Seuls canaux d'analyse:
  - $\sigma(p\bar{p}\to hb\bar{b}\to b\bar{b}b\bar{b}) \sim 1\text{-}10$ pb
  - $\sigma(p\bar{p}\to Hb\bar{b}\to b\bar{b}b\bar{b}) \sim 0.1\text{-}1$pb



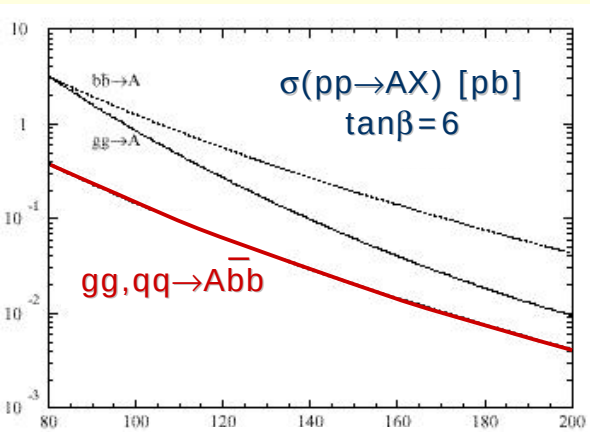
⇨ <u>tanβ=30:</u>
- Higgs h/H: seul canal possible → $b\bar{b}b\bar{b}$
- Higgs h/H: canaux standard impossibles

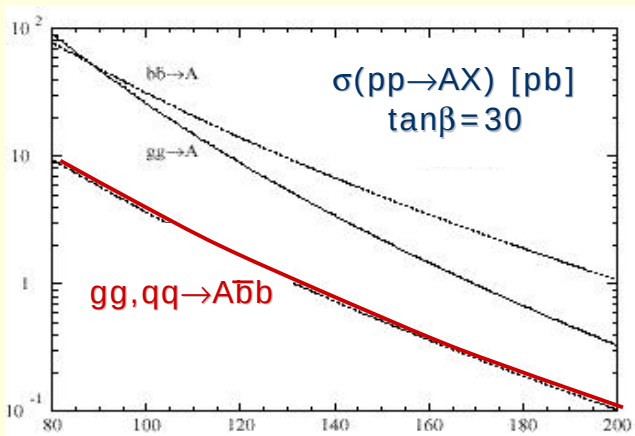
Phénoménologie du Higgs A

Modes de production

- Bénéficie de couplages:
  - ggA, $Ab\bar{b} \propto \tan^2\beta$
- Sections efficaces:
  - $\sigma(b\bar{b},gg\rightarrow A)$ ~10-100pb
  - $\sigma(gg,bb\rightarrow Ab\bar{b})$~1-10 pb

Etat final $b\bar{b}$ noyé par QCD $b\bar{b}$!

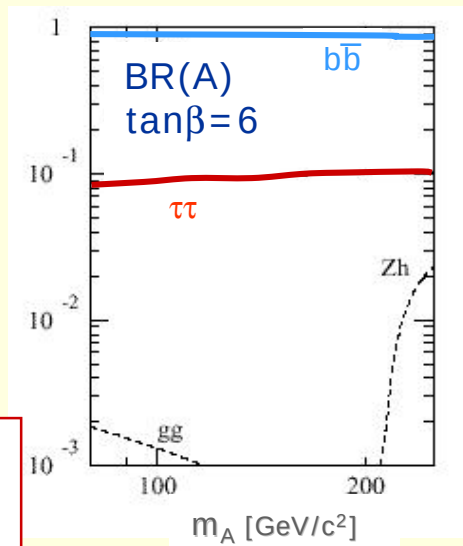




Désintégration du A

- Rapport de Branchement:
  - $BR(b\bar{b}) > 90\%$
  - $BR(\tau\tau) < 8\%$
  - Faible dépendance en tanβ

Etat final $b\bar{b}b\bar{b}$!



Recherche du A : $m_A < 200$ GeV/c²

– Recherche d'état final → $b\bar{b}b\bar{b}$

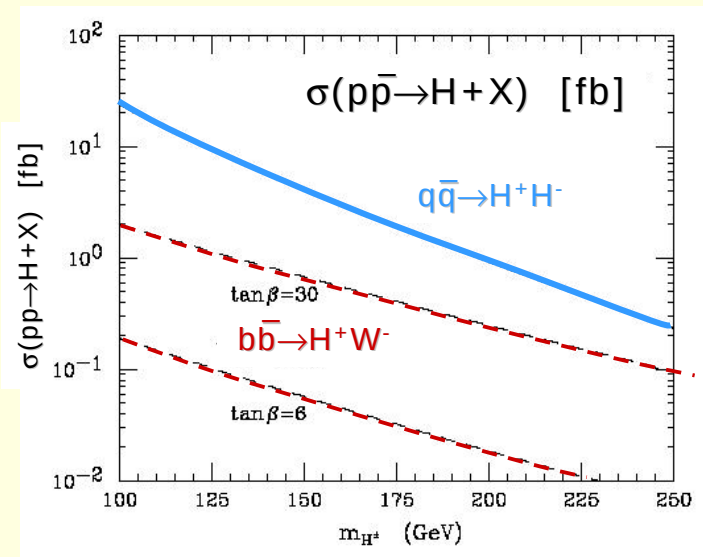
Phénoménologie des Higgs $H^{\pm}$

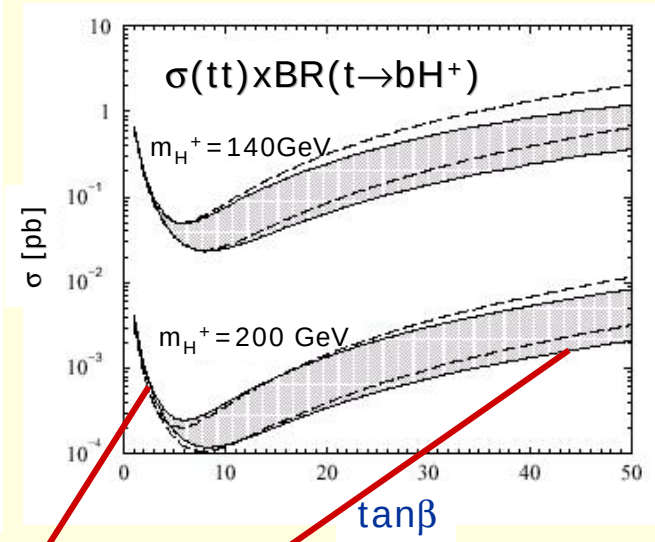
Modes de production

– 2 modes directs:

- annihilation: $\sigma<10$ fb
- associée W^-H^+ : $\sigma<1$ fb

⇨ Modes ~ inaccessibles car σ trop faible



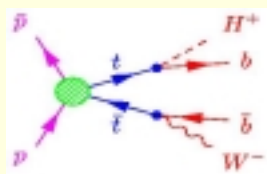


– 1 mode indirect:

- $p\bar{p}\to t\bar{t}$ avec $t\to H^+b$

possible si:

- $m_{H^\pm} < m_t - m_b$
- $\tan\beta \sim 1$ et $\tan\beta >> 1$
- Diminue avec m_{H+} (top off-shell)



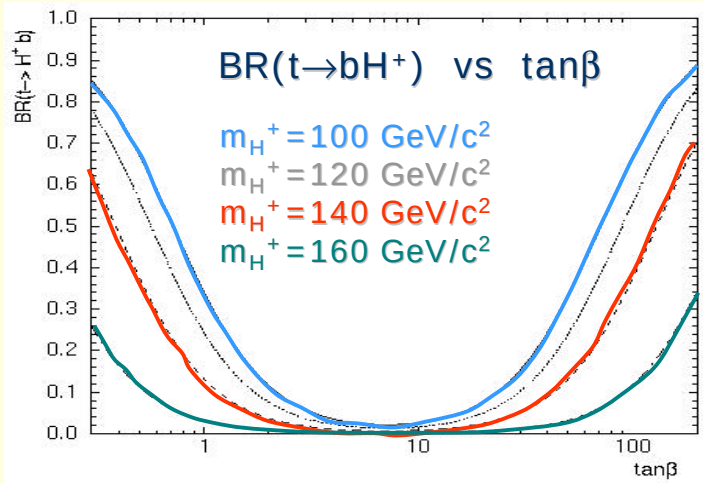
⇨ Recherche du Higgs chargé : $m_H < 200$ GeV/c^2
Production par paires de Top

Phénoménologie des Higgs $H^{\pm}$

Modes de désintégration du Top

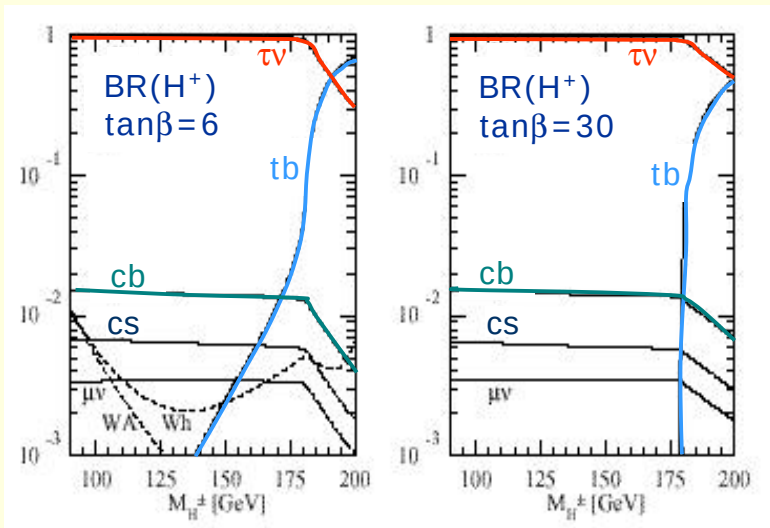
- Désintégrations du Top:
  - Standard: $t \to W^+ b$
  - SUSY: $t \to H^+ b$
  - dépend de $\tan\beta$

$BR(t \to bH^+) > BR(t \to bW^+)$
$\forall \tan\beta < 1$ et > 30



Modes de désintégration du $H^{\pm}$

- fonction (m_{H+}, $\tan\beta$)
- $m_{H^{\pm}} < m_t - m_b$
  - $BR(H^{\pm} \to \tau^{\pm}\nu) > 90\%$
  - $BR(H^{\pm} \to cb) \sim 1\%$
- $m_{H^{\pm}} > m_t - m_b$
  - $BR(H^{\pm} \to tb) \sim 50\%$



Recherche du Higgs chargé:
- indirecte: mesure de $\sigma(tt \to W^+bW^+b)$ vs σ_{tt}(theorique)
- directe: apparition de $H^+ \to \tau^+\nu$?

Phénoménologie du Higgs MSSM

Higgs neutres:	Higgs chargés:
$p\bar{p} \to WH \to l\nu b\bar{b}$ $p\bar{p} \to ZH \to \nu\bar{\nu} b\bar{b}$ + états bbbb	$\bar{p}p \to tt \to H^+W^-b$ $\bar{p}p \to tt \to H^+H^-$
Eléments clefs: – déclenchement leptonique – déclenchement mE_T – étiquetage du b – étalonnage de E_{jet}^b – résolution sur M_{bb}	Eléments clefs: – déclenchement leptonique – déclenchement mE_T – identification leptonique – résolution E_T, mE_T, angles

Recherche directe du Higgs:

Les outils d'analyse

1. Le déclenchement
2. L'étiquetage des b
3. La résolution en énergie des jets

Le déclenchement

Enjeu pour l'analyse:

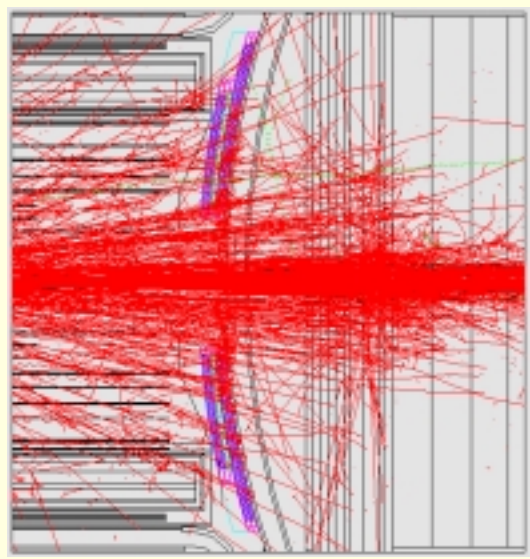
– Fond « dijet »

p_T (GeV/c)	σ (μb)
2-10	56,590
10-40	580

$\sigma_{dijet} \sim 10^6\ \sigma_{signal}$!!

– Discrimination basée:

- topologie différente:
  $d\sigma_{dijet}$ vers grand η
  $\rightarrow$ recherche de jet de grand E_T
- nature des objets physiques
  $\rightarrow$ recherche de leptons, vertex déplacés



– Limitations due à σ_{dijet} :

Il y aura **toujours** des fonds dijets dans la sélection

– Performances d'1 algorithme:

- efficacité de sélection du signal
- taux de dijets sélectionnés

$\varepsilon^{decl}_{signal}$ (%)

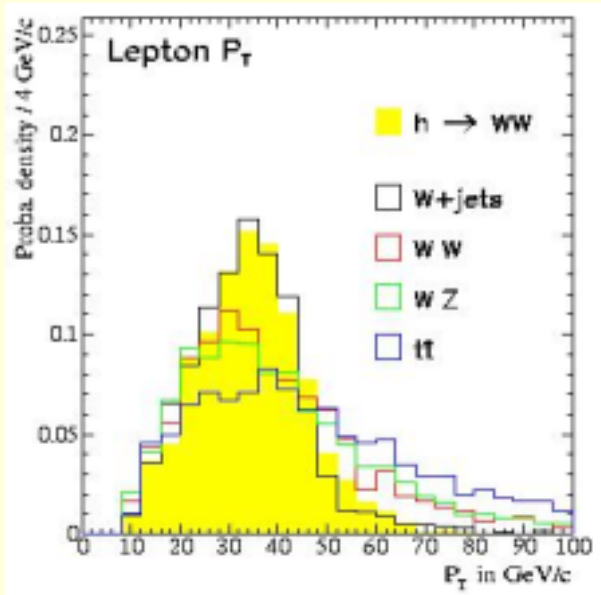
taux (Hz)

Définition d'un déclenchement:
– propre à l'analyse Higgs
– en terme de ε(%) vs taux dijet (Hz)

Déclenchement leptonique

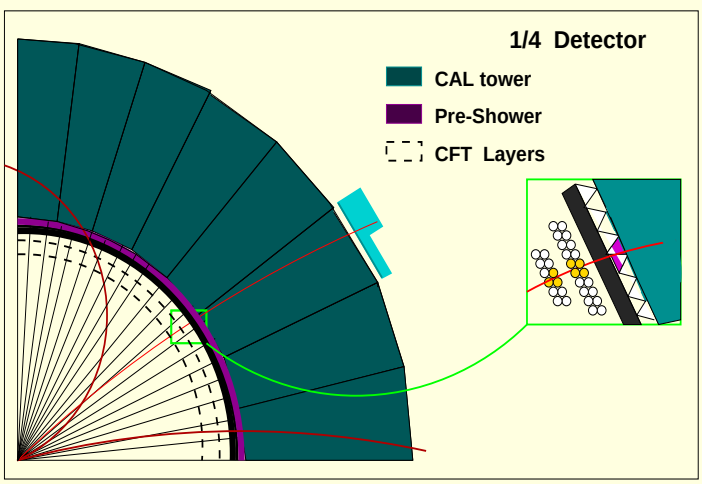
Objectifs

- Leptons mous ~ 3-5 GeV
  - Sélection de jet b:
    $b \to l\nu + X$
    $b \to J/\psi(\to ll) + X$
- Leptons durs ~ 10-100 GeV
  - Sélection W/Z:
    $HW(\to l\nu)$, $HZ(\to ll)$
    $H \to W(\to l\nu)W^*(\to l\nu)$



Algorithme électron

- Niveau 1:
  - Cluster dans calorimètre EM
  - Association avec gerbe dans preshower
  - Au moins 1 trace associée / secteur



- Niveau 2:
  - Cluster EM: isolation
  - Association +précise:
    preshower/EM
    trace/Preshower
    trace/Vertex

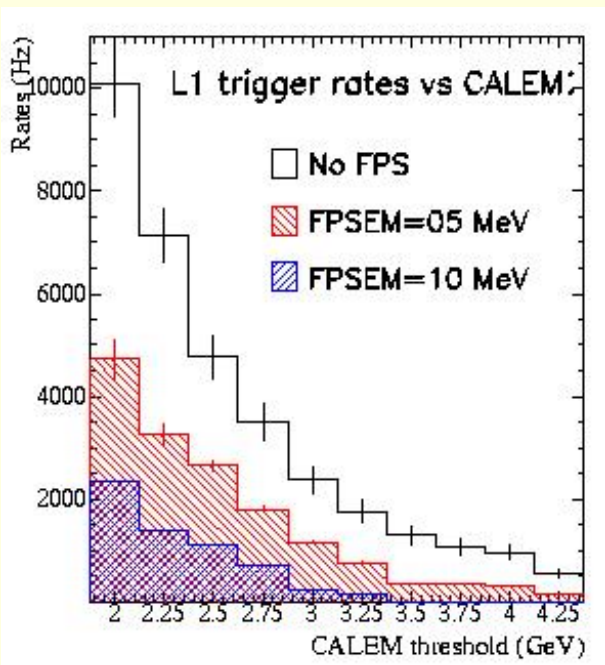
Déclenchement leptonique: exemple des électrons

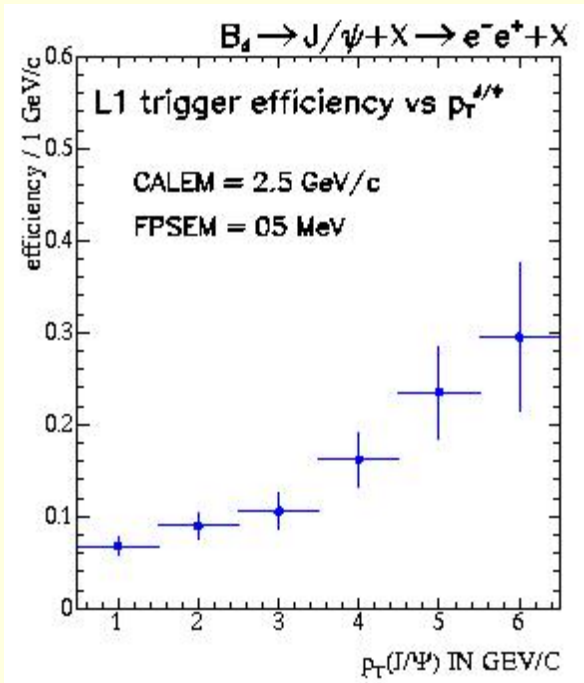
Performances

- Electrons:
  - 1 e de haut p_T
  - 2 e de faible p_T

  ($B \rightarrow J/\Psi X \rightarrow ee\ X$)

Trigger	Fonds (Hz) L1/L2	ε_{signal} (%)
$p_T(e) > 10$ GeV	300/50	91%
$p_T(e,e) > 2.5$GeV	1000/40	15%

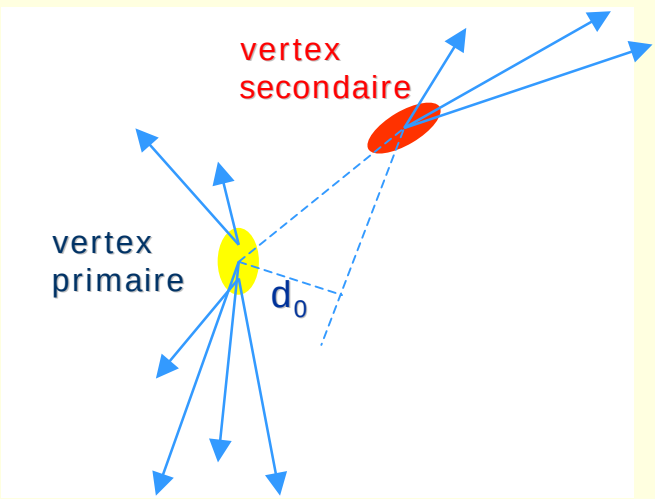


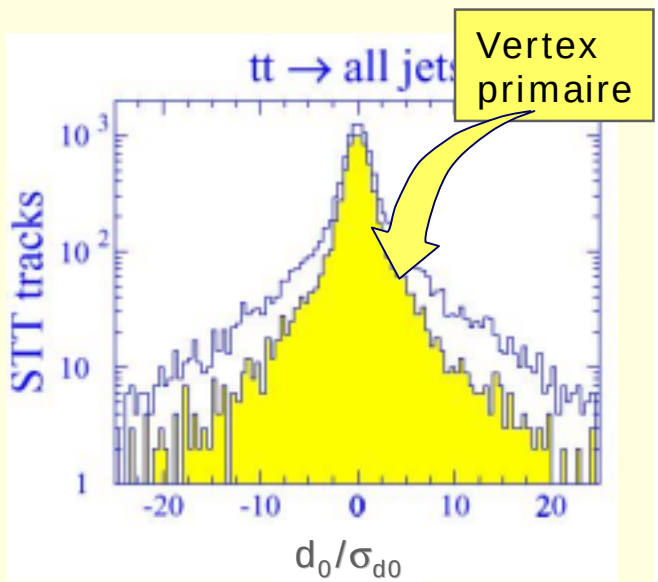


Déclenchement sur les Vertex déplacés

Objectifs et principe

- Sélection de jets de b:
  - $c\tau(B)$ ~ qques mm
- Vertex déplacé:
  - Traces à grand paramètre d'impact





Algorithme

- Niveau 1:
  - Jets avec E_T >10-30 GeV dans calorimètre HAD
  - Lepton ($b \rightarrow l\nu X$) si possible
- Niveau 2
  - Extrapole trace dans VTX
  - Ré-ajuste traces : d_0, p_T
  - Calcule l'erreur : σ_{d0}
  - Calcule la Significance: $S \equiv d_0/\sigma_{d0} > S_{min}$

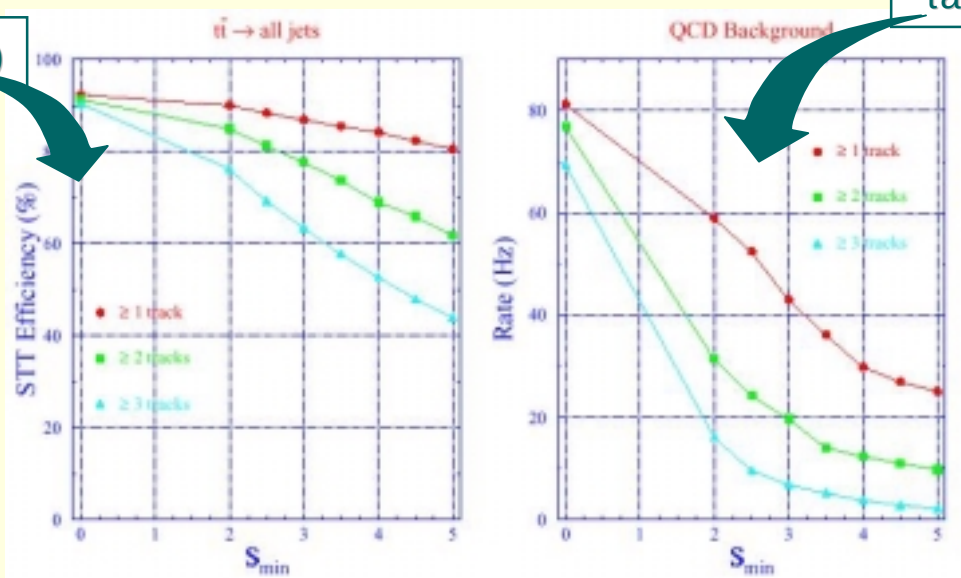
Déclenchement sur les Vertex déplacés

Performances attendues

- Réjection des jets provenant de VP
- Efficacité typique: ZH→ ννbb
  - Vertex+énergie manquante
  - Efficacité ~ 30%
- Autre processus:

$\varepsilon^{decl}_{signal}$ (%)

taux (Hz)



Processus	Taux Fonds (QCD)	Efficacité
$Z \rightarrow b\bar{b}$	<30 Hz	20%
$t\bar{t} \rightarrow b\bar{b}jjj$	110 Hz	90%

- Echantillons Zbb de contrôle:

⇨ ~25,000 $Z \rightarrow b\bar{b}$ attendus / 1 fb^{-1}

Recherche directe du Higgs:

Les outils d'analyse

1. Le déclenchement

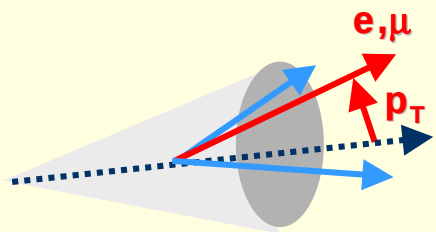
2. L'étiquetage des b

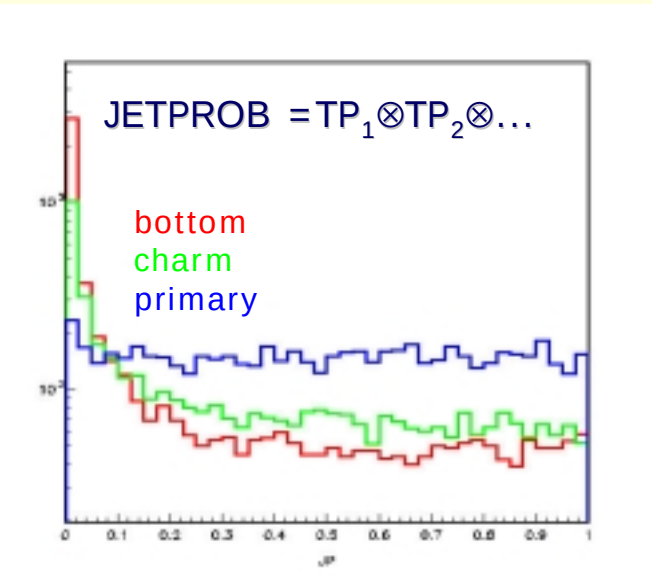
3. La résolution en énergie des jets

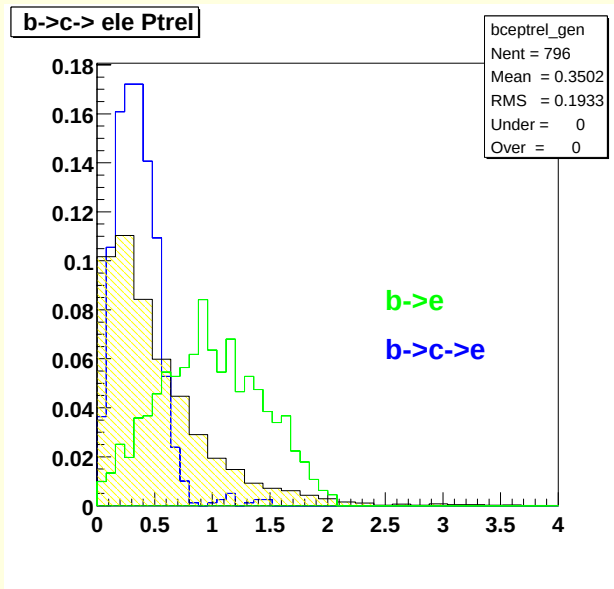
Etiquetage du b au Run I

Méthodes traditionnelles

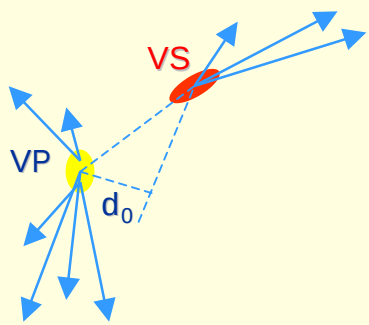
– Algorithme Lepton mou (CDF+DØ)
  - Lepton mou:
    $BR(B \to e\nu X) = BR(B \to \mu\nu X) \sim 10\%$
  - Spectre p_T^l / jet







– Algorithme Probabilité-Jet (CDF)
  - TP_i: Proba. que trace i vienne du VP (paramètre d'impact)
  - JETPROB:
    plat (0,1) pour primaire
    0 pour jets de b,c



Etiquetage du b au Run II

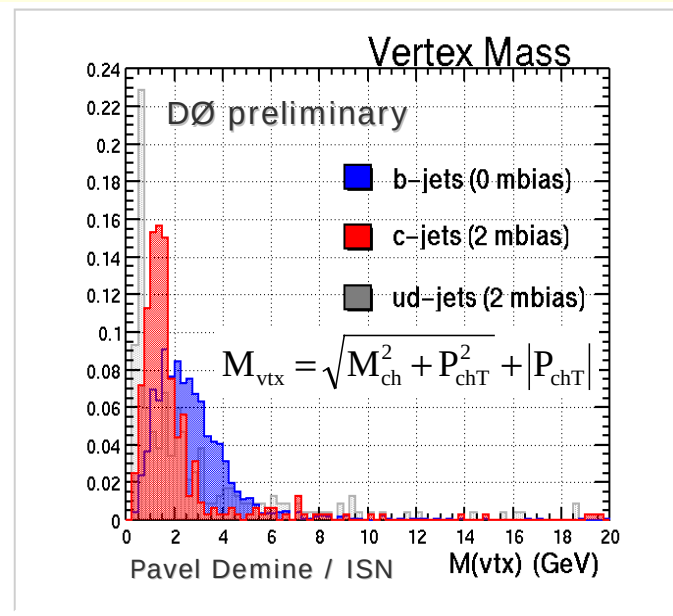
Séparation b / c

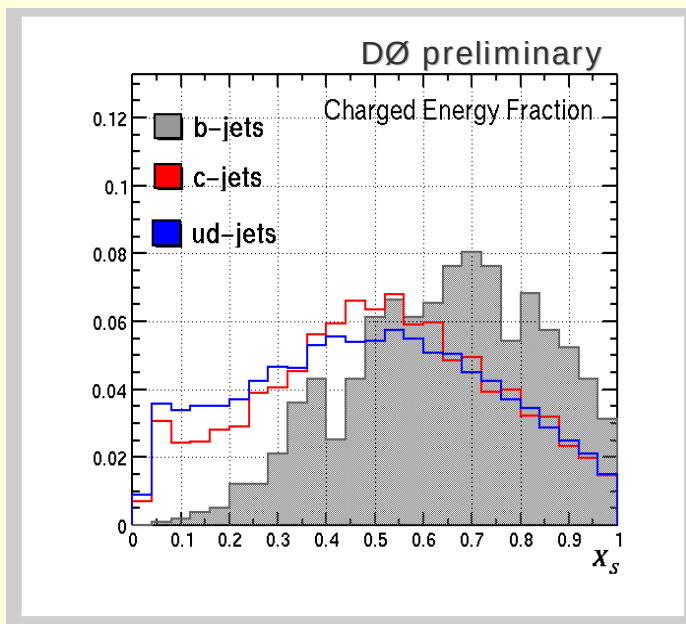
- Différences entre jet b et c:
  - Temps de vie (L_{xy}/σ_{xy})
  - Masse Vertex (Mvtx)
  - Fragmentation / topologie:

    Fraction d'Energie chargée

    SumPtrel / axe du jet: $\Sigma^{jet} p_T^{rel}$

    SumDR / axe du jet $\Sigma^{jet} \Delta R(tr, jet) = \sqrt{\Delta\phi^2+\Delta\eta^2}$





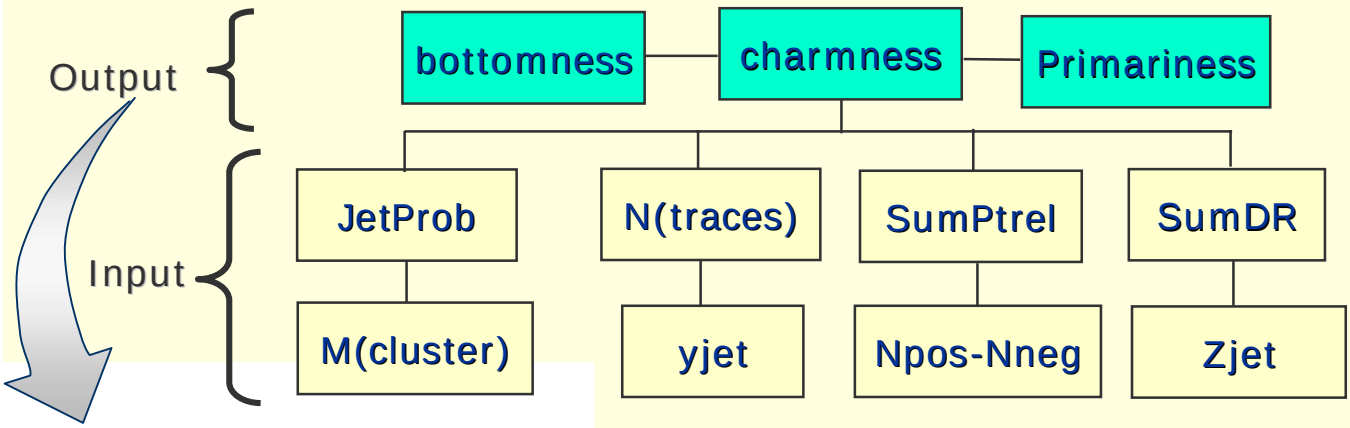
- Combinaison par méthode de vraisemblance / Réseau Neurones

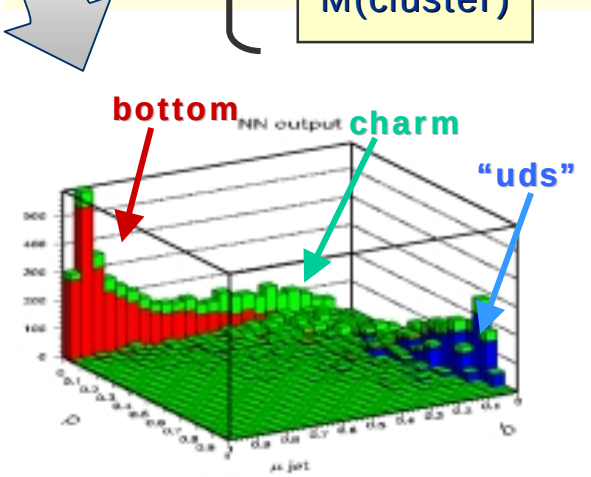
⇨ Combinaison : temps de vie + cinématique

Etiquetage du b : Réseaux de Neurones

Réseaux de Neurones

- Combinaison multi-variables
  - Basée sur simulation du signal et Fonds
  - Evaluation des corrélations
- Sortie d'une variable unique § continue par jet:
  - « bottom-ness » (1 pour jet b,~0 pour c, uds)
  - « charm-ness » (1 pour jet c,~0 pour b,uds)
  - « Jet primaires » (1 pour jet uds,~0 pour b,c)





Courtesy of Regina Demina / FNAL

Gain efficacité de +60% dans le double b-tag vs Run I

Etiquetage du b: Résumé au Run II

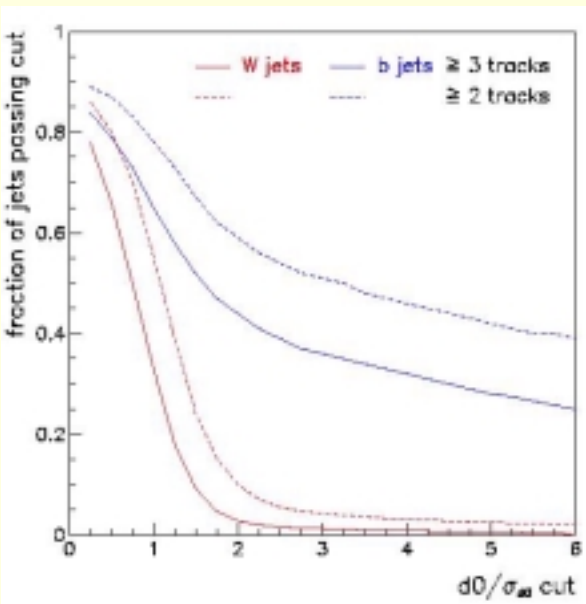
Algorithmes au Run II

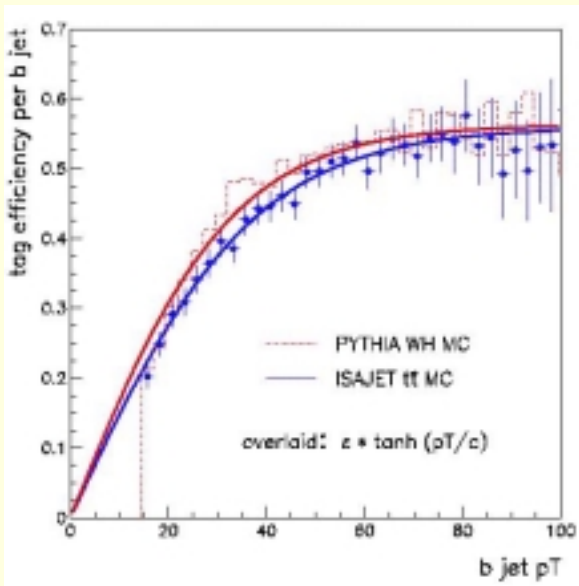
Bénéficient:

- Reconstruction de vertex + performantes:
  - acceptance en z accrue jusqu'à ±30 cm (CDF+DØ)
  - acceptance en η jusqu'à |η|~ 2.0
- Reconstruction de traces améliorées:
  - deux systèmes autonomes, large acceptance (CDF)
  - nouveau détecteur de traces (DØ)

Performances attendues

- Etudes sur simulations simplifiée:
  - étiquetage sévère: Vertex ε~50% + 2×lepton ε~8% (CDF)
  - étiquetage « soft »: ε~60% (pureté moindre)
- Efficacité vs réjection:





Recherche directe du Higgs:

Les outils d'analyse

1. Le déclenchement
2. L'étiquetage des b
3. La résolution en énergie des jets

Etalonnage de l'énergie des jets

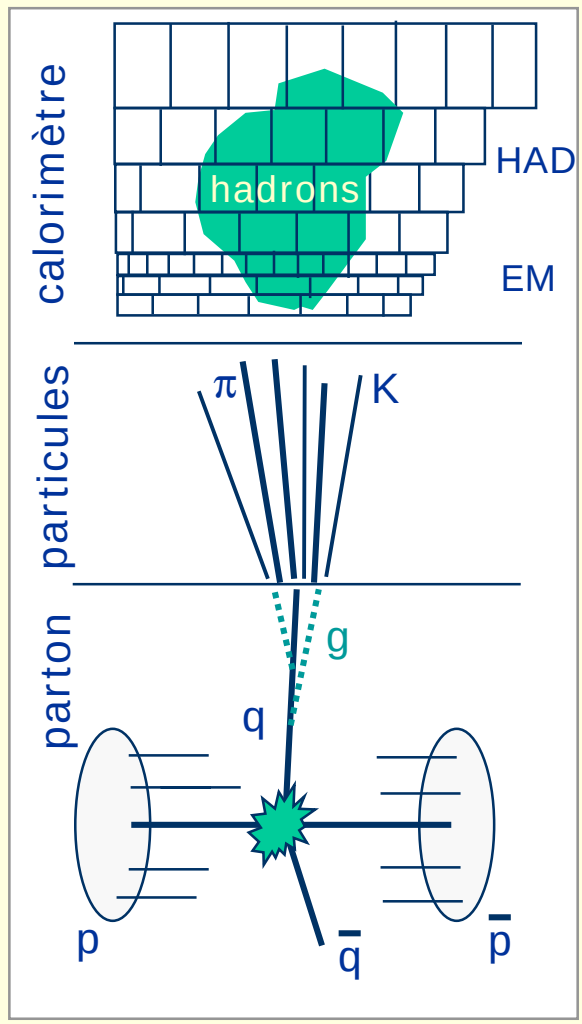
Motivations

- Erreurs dans la mesure de E_{jet}:
  - E_{jet}(particules) $\neq$ E_{jet}(parton)
- Sources d'erreurs:
  - échelle d'énergie du calo
  - définition d'1 jet: parton vs particules

Procédure

3 étapes :

- Stabilité et uniformité du calo
  - pulser (source lumière)
  - flux d'énergie symétrique en azimuth
  - muon
- Echelle d'énergie absolue
  - trace/énergie: E/p
  - résonances $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$, $J/\Psi \rightarrow ee$, $Z \rightarrow ee$
- Lien entre Echelle Hadronique et Electromagnétique
  - modèles de fragmentation contraints par faisceau-test sur hadrons isolés
  - événements γ+jet

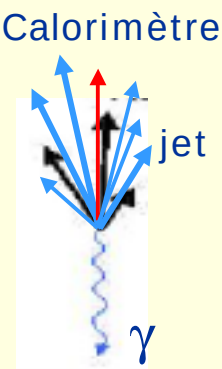


Etalonnage de l'énergie des jets

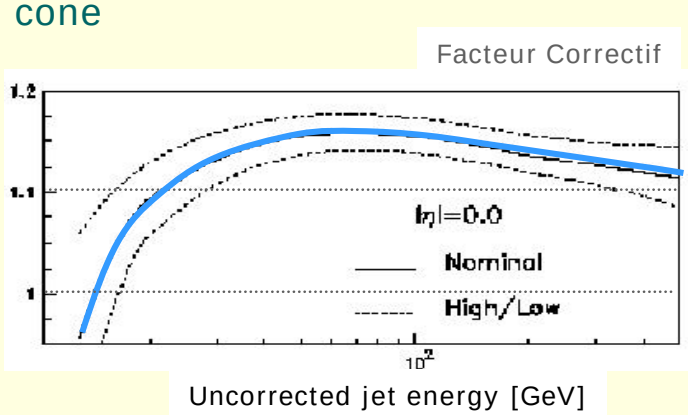
Algorithme (DØ+CDF)

Effets pris en compte:

- Biais du calorimètre E_{off}
  - Bruit électronique+fission Ur
  - Interactions multiples (~1 GeV / bin η,ϕ)
  - Quarks spectateurs (~0.6 GeV)
- Réponse du calorimètre R_{jet}:
  - E_{mes}/E_{vrai}
    Calibration avec γ+jets
- Modèles hadronisation S_{cone}:
  - Perte en-dehors du cone



$$E_{jet} = \frac{E^{mes}_{jet} - E_{off}}{R_{jet}\, S_{cone}}$$



E_T(GeV)	Facteur correctif
20	1.08 ± 0.030
100	1.15 ± 0.017
450	1.12 ± 0.025

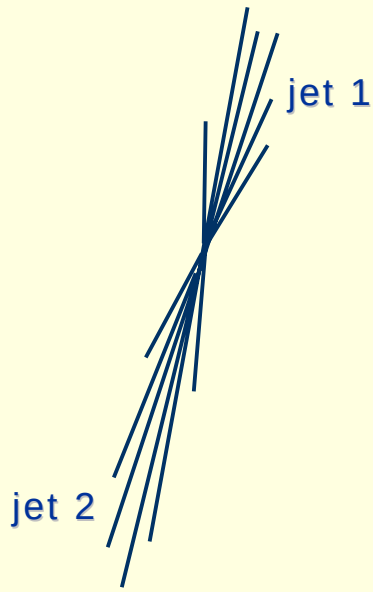
Résolution des Jets

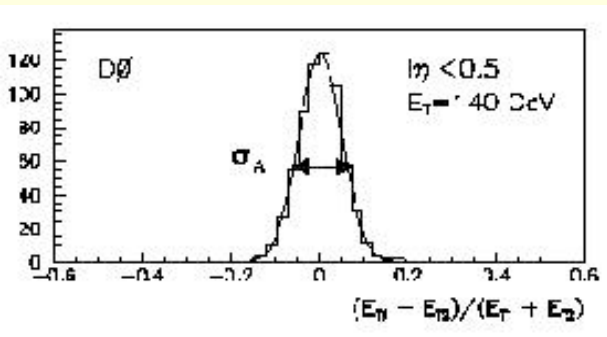
Algorithmes et performances (DØ)

- Utilise les événements 2-jets / data
  - Mesure l'asymétrie:

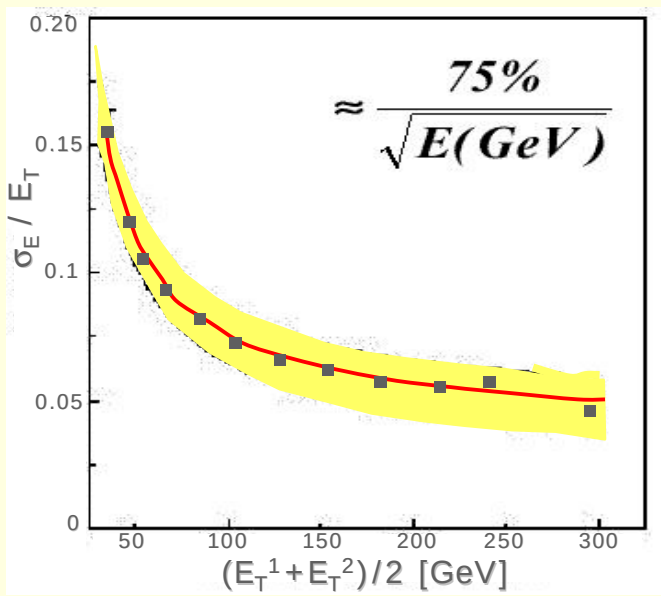
$$A = \frac{E_T(j1) - E_T(j2)}{E_T(j1) + E_T(j2)}$$

- Résolution:
  - $\sigma_{ET}/E_T = \sqrt{2}\sigma_A$





E_T(GeV)	σ_{ET}/E_T
25	0.155
50	0.105
100	0.075
450	0.035

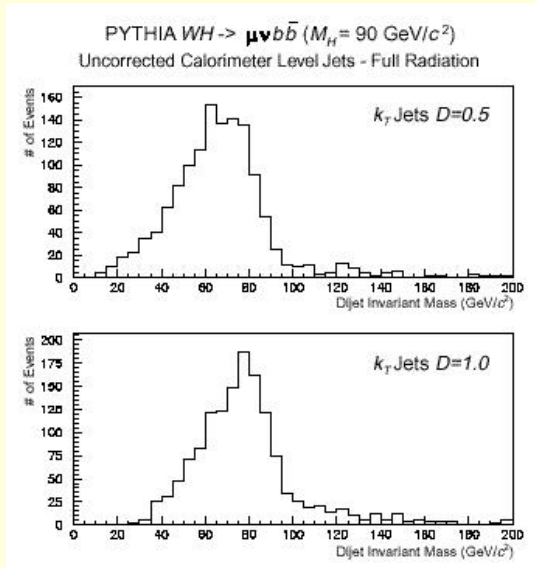


Résolution sur M(jj)

Motivations

- Reconstruction de $M_{bb} = m_H$
- Les problèmes:
  - radiations gluon ISR
  - radiations gluon FSR
  - étiquetage des jets (combinatoire)

→ dépendance aux algorithmes de jets

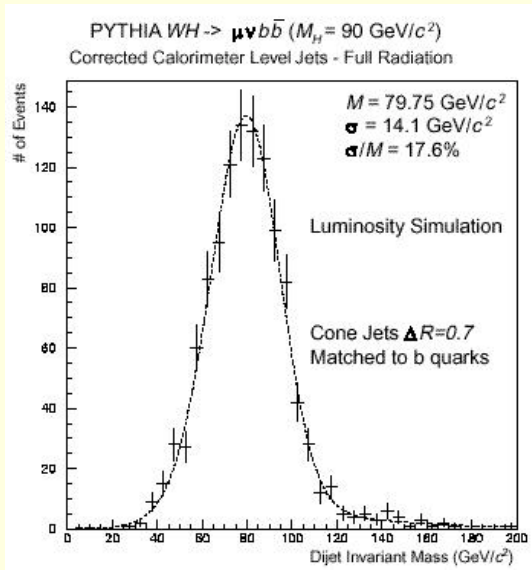


Performances

Montrent l'importance du:

- étiquetage des jets b
- interactions multiples
- choix des algorithmes de jets

Data	σ_M / M
ISR+FSR+Mbias	21 %
ISR+FSR+Mbias+btag	18 %
ISR+FSR+b-tag	15 %

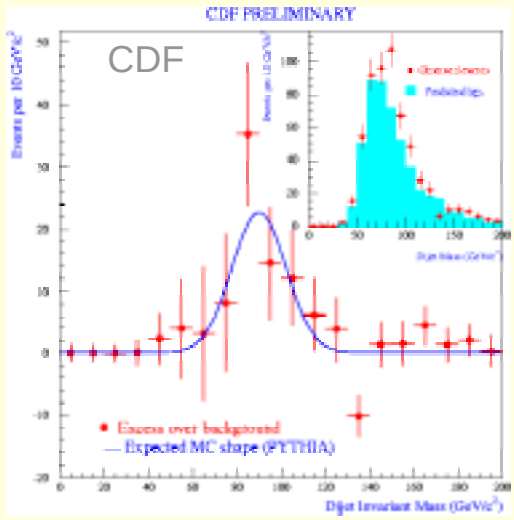


Besoin de corrections de E_{jet}:
- spécifiques aux jets b
- pour les faibles valeurs $E_t^b \sim 25$GeV

Résolution sur M(jj) avec Z→bb

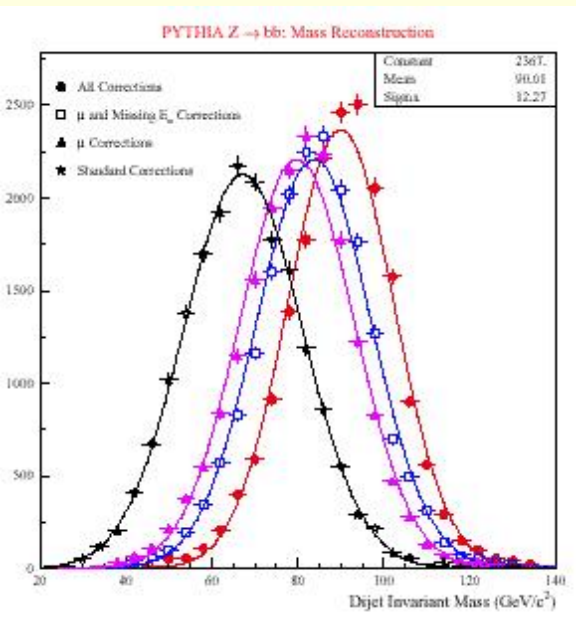
Motivations

- Sélection de Z→bb indispensable pour H→bb
  - étiquetage des b
  - résolution de Mbb
- Echantillon disponible important
  - déclenchement spécifique



Algorithme (CDF Run I)

- Sélection:
  - 1 single muon (b→ μνX)
  - 2 jets étiquetés-b dos-à-dos
  - Coupures Cinématiques



- Optimisation de S/B:
  - Minimise $p(\text{jet-b})^{mes} - p(b)^{MC}$
  - Utilisant p_μ^{mes} , mE_T fraction chargée
- Analyse **très** délicate:
  - S/B ~ 1 / 10^6 avant coupure
  - S/B ~ 1 / 30 après sélection

⇒ S ~ 50 evts / 0.1 fb^{-1}
σ_{Mbb}/M_{bb} ~ 15 %

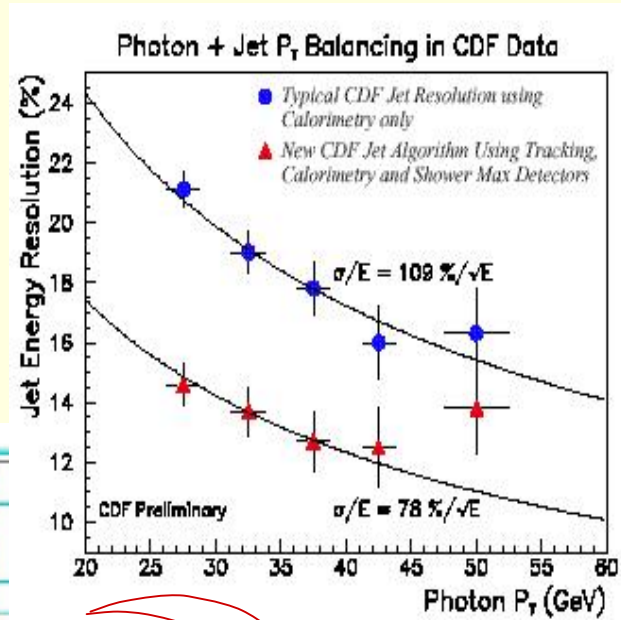
Résolution des jets avec Z→bb

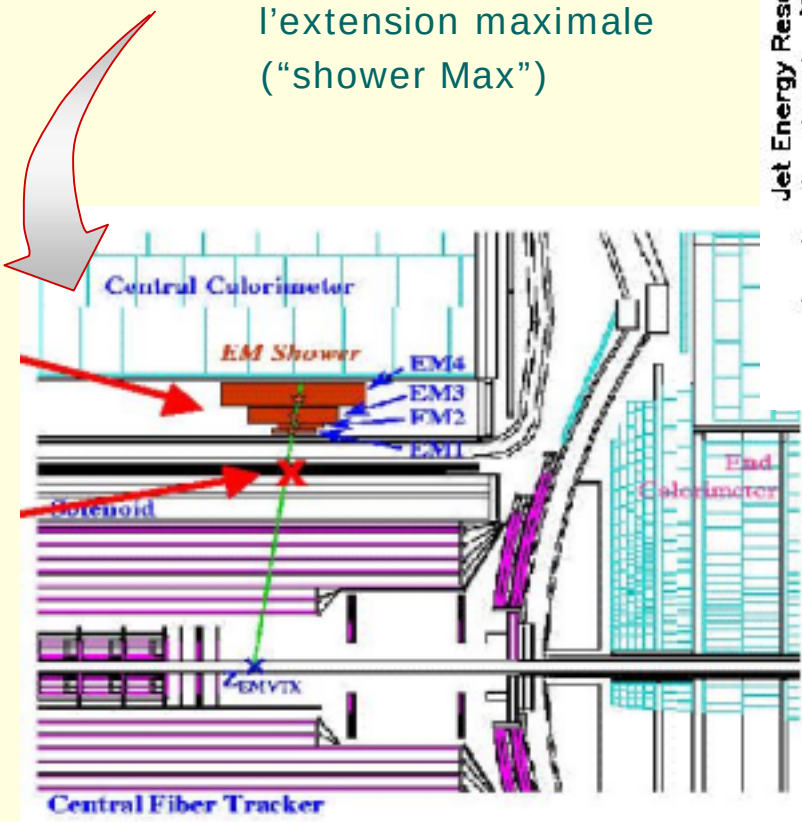
Performances attendues

- Echantillon de Z→bb
  - déclenchement single muon

    ⇨ S ~ 500 evts / fb^{-1}
  - déclenchement 2jet+vertex

    ⇨ S ~50000 evts / fb^{-1}
- Energie flow pour E_{jet}:
  - inclusion de p (traces)
  - mesure de gerbe EM à l'extension maximale ("shower Max")





Technique de énergie-flow améliore σ/M de 30%

Recherche directe du Higgs: Le Higgs Standard

Higgs de masse < 135 GeV/c^2

$HW \rightarrow b\bar{b}l\bar{\nu}$

$HZ \rightarrow b\bar{b}\nu\bar{\nu}$

$HZ \rightarrow b\bar{b}l^-l^+$

Higgs de masse > 135 GeV/c^2

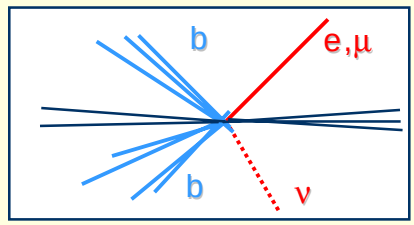
$H \rightarrow WW^*$

$WH \rightarrow WWW^*$

Le canal $WH \rightarrow l\nu b\bar{b}$ (1)

Caractéristiques

- Topologie Signal
  - 1 lepton dur
  - Energie manquante mE_T
  - 2 jets de b



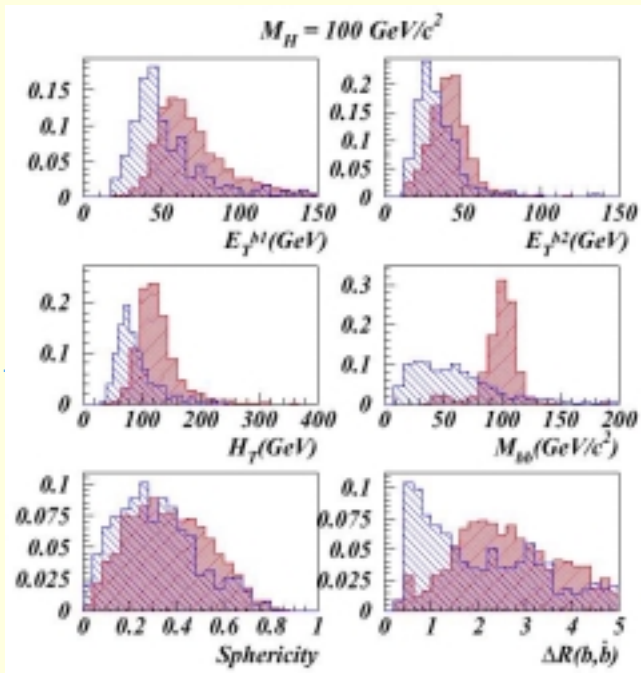
- Sections efficaces

m_H[GeV/c²]	σ×BR [pb]
100	0.085
110	0.062
120	0.045
130	0.034

Fonds	σ×BR [pb]
$pp \rightarrow Wbb$	3.500
$pp \rightarrow tbq$	0.800
$pp \rightarrow WZ$	0.165
$pp \rightarrow tt$	??

Sélection

- Pré-sélection:
  - Lepton E_T, énergie mE_T
  - 2 jets b étiquetés
  - Veto 3ème jet
- Variables discriminantes:
  - Lepton: E_T^l et η^l et mE_T
  - Energie des b: E_T^b
  - Masse M_{bb} ($=m_H \pm 2\sigma_m$)
  - Energie totale jets H_T
  - Sphéricité

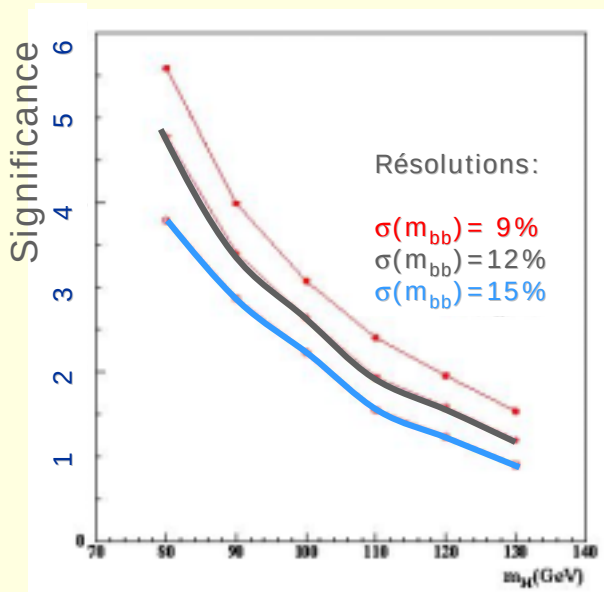


Le canal $WH \rightarrow l\nu b\bar{b}$ (2)

Paramètres clef

- Détecteur:
  - Résolution sur M_{bb}

    $\sigma_M/M \sim 15 \rightarrow 9\%$
    Gain de 1σ
  - Efficacité étiquetage b
- Analyse NN:
  - Gain $S/\sqrt{B}$ de ~30%
  - Bonne connaissance des fonds (MC)
- Théorie
  - Section efficace $\sigma(Wbb)$



Performances attendues

- Significance pour 1 fb^{-1}
  - Résolution $\sigma_M/M \sim 10\%$
  - Fonds dominants: Wbb et tt

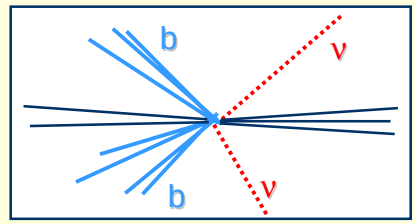
$S \sim 5$ evts / fb^{-1}
$S/B \sim 10\%$

	m_H GeV/c^2	110	120	130
Classique	Signal	5.0	3.7	2.2
	ε x BR	2.3%	2.3%	1.9%
	$S/\sqrt{B}$	0.72	0.53	0.35
Neurones	$S/\sqrt{B}$	1.1	0.87	0.55

Le canal $ZH \to \nu\bar{\nu}b\bar{b}$ (1)

Caractéristiques

– Topologie Signal:
  - Energie manquante mE_T
  - 2 jets de b



– Sections efficaces:

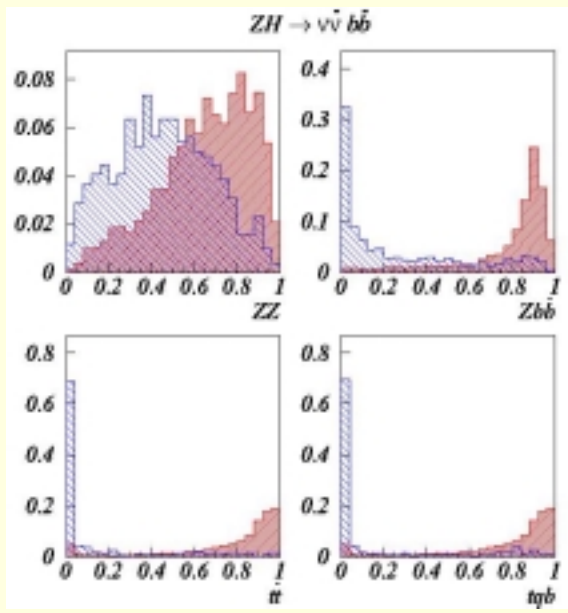
m_H[GeV/c²]	σ×BR [pb]
100	0.030
110	0.022
120	0.016
130	0.013

Fonds	σ×BR [pb]
pp →Zbb	0.700
pp → tbq	0.800
pp → ZZ	0.074
pp → tt	0.080

Sélection

– Pré-sélection:
  - Energie mE_T
  - 2 jets b étiquetés
  - Veto 3ème jet

– Variables discriminantes:
  - Energies E_T^b et mE_T
  - Masse M_{bb} ($=m_H \pm 2\sigma_m$)
  - Energie totale jets H_T
  - Sphéricité , Centralité
  - $\Delta\Phi(mE_T,\text{jet})>0.5$

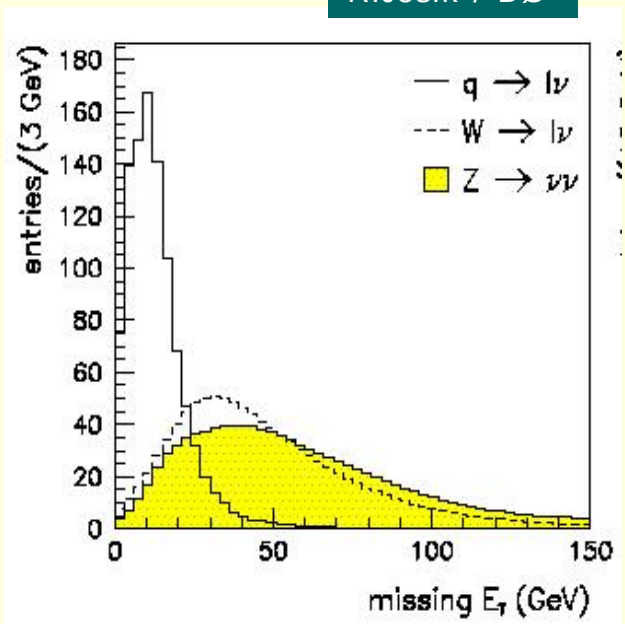


Le canal $ZH \rightarrow \nu\bar{\nu}b\bar{b}$ (2)

Paramètres clef

- Détecteur:
  - Résolution sur M_{bb}
  - Efficacité étiquetage b
  - Résolution mE_T
- Fonds principal:
  - QCD bb: data ($\sigma \sim 10^6 \times \sigma_{HZ}$ et $\varepsilon << 1$)
- Analyse NN:
  - Gain $S/\sqrt{B}$ de ~30%
- Théorie:
  - Calcul $\sigma(Zbb)$

R.Jesik / DØ



Performances attendues

- Résultats pour 1 fb^{-1}
  - Résolution $\sigma_M/M \sim 10\%$
  - Fonds dominants: Zbb, QCD bb

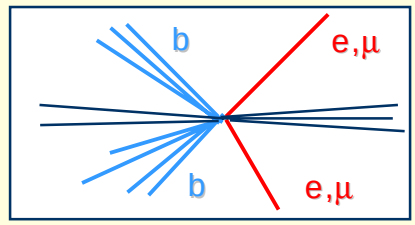
S ~ 2 evts / fb^{-1}
S/B ~ 15%
distribution de M_H

ZH	m_H GeV/c^2	110	120	130
Classique	Signal	2.7	1.7	0.9
	ε x BR	2.1%	1.7%	1.2%
	$S/\sqrt{B}$	0.84	0.59	0.38
Neurones	$S/\sqrt{B}$	0.90	0.73	0.53

Le canal $ZH \rightarrow ll b\bar{b}$ (1)

Caractéristiques

– Topologie:
  - Energie manquante mE_T
  - 2 jets de b



– Sections efficaces:

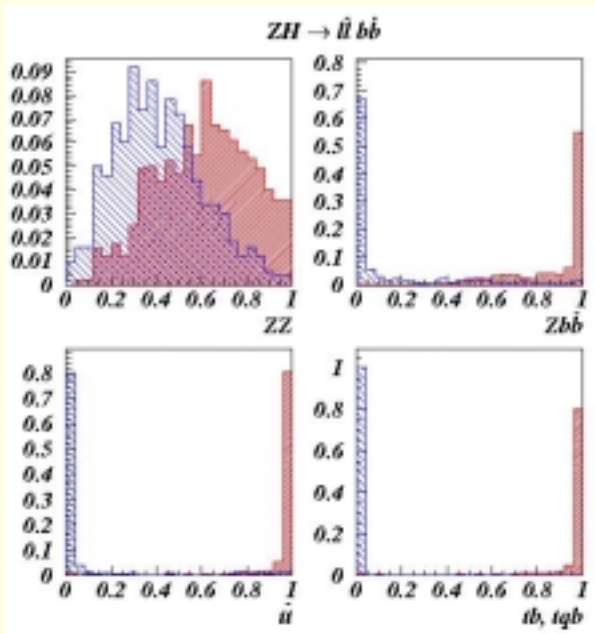
m_H[GeV/c²]	σ×BR [pb]
100	0.015
110	0.011
120	0.008
130	0.006

Fonds	σ×BR [pb]
pp →Zbb	0.350
pp → tbq	0.800
pp → ZZ	0.026
pp → tt	0.350

Sélection

– Pré-sélection:
  - 2 leptons haut p_T
  - 2 jets b étiquetés
  - Veto 3ème jet

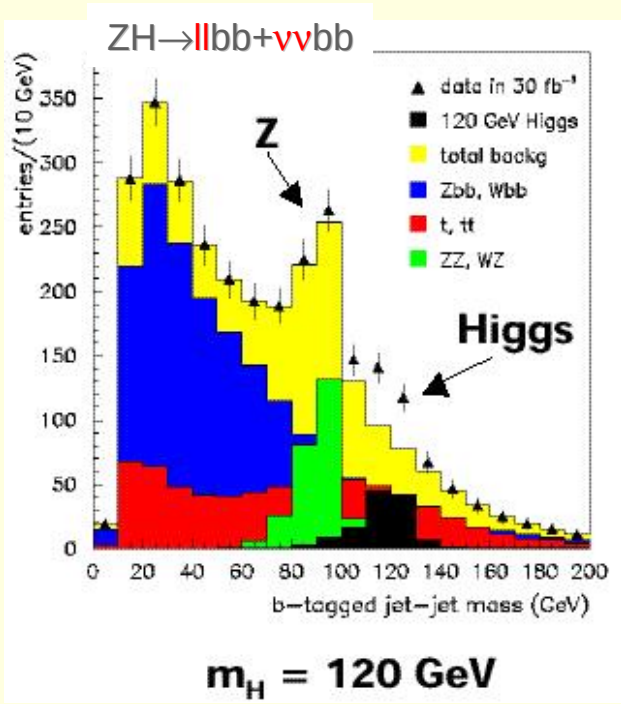
– Variables discriminantes:
  - Energie des b: E_T^b
  - Energie des leptons: E_T^l
  - Masse M(ll)
  - Masse M(bb)
  - Energie totale des jets H_T
  - Ecart lepton,b : $\Delta R(l,b)$



Le canal $ZH \rightarrow l^+l^-b\bar{b}$ (2)

Paramètres clef

- Détecteur:
  - Résolution sur M_{bb}
  - Efficacité étiquetage b
  - Résolution M(ll)
- Analyse NN:
  - Gain S/√B de ~30%
  - Etudes fonds sur data



Performances attendues

- Significance pour 1 fb^{-1}
  - σ_M/M ~ 10%
  - Fonds dominants: ZZ, Zbb

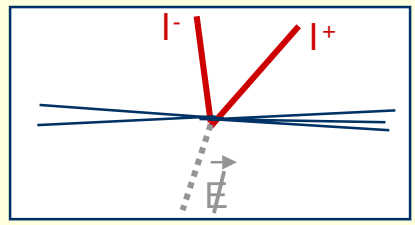
S ~ 0.4-0.9 / fb^{-1}
S/B ~ 30-45%
distribution de M_H

ZH	m_H GeV/c^2	110	120	130
Classique	Signal	0.9	0.6	0.4
	S/√B	0.5	0.4	0.3
Neurones	S/√B	0.6	0.5	0.4

Le canal $H \to W^*W^* \to l^+l^-\nu\bar{\nu}$ (1)

Caractéristiques

– Topologie Signal:
  - 2 leptons durs
  - énergie manquante mE_T



– Sections efficaces:

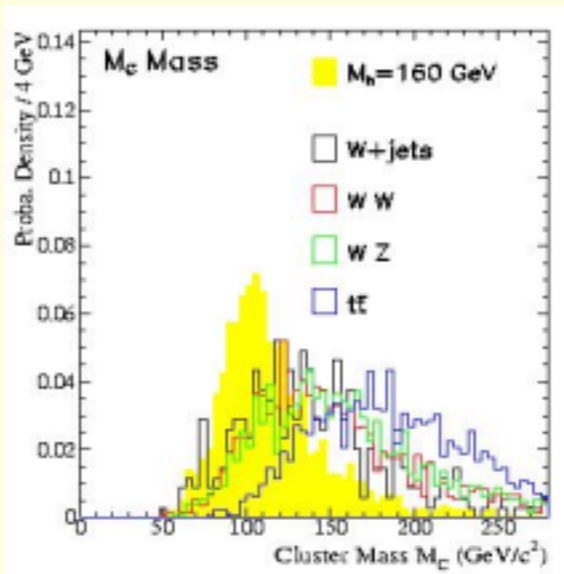
m_H[GeV/c²]	σ×BR [fb]
150	4.4*
160	5.2*
170	4.8*
180	3.6*

Fonds	σ×BR [fb]
pp →WW	130*
pp → ZZ	2.4*
pp → WZ	4.4*
pp → W+jet	18*
pp → tt	13*

Sélection

– Pré-sélection:
  - 2 leptons haut p_T , mE_T
  - veto de jet de haut p_T

– Variables discriminates
  - Masse invariante m(ll)
  - Corrélations entre leptons:
    $\Phi(ll)$, $\theta(ll)$ (H = spin-0!)
  - Paire leptons:
    $p_T(ll)$, $\cos\theta(ll\text{-}mE_T)$
  - Masse des clusters:
    $M_C = \sqrt{p_T^2(ll)+m^2(ll)} + mE_T$



Le canal $H \to W^*W^* \to l^+l^-\nu\bar{\nu}$ (2)

Sélection

Utilisation de Fonction de Vraisemblance:

- Choix de variables discriminantes ~ indépendantes
  - densités de probabilité:

$$v_i(x_i)$$

Absolument à voir:
P. Lutz / cours GIF 1988

- Probabilité individuelle d'être S ou B:
  - pour chaque variable v_i (/bin)

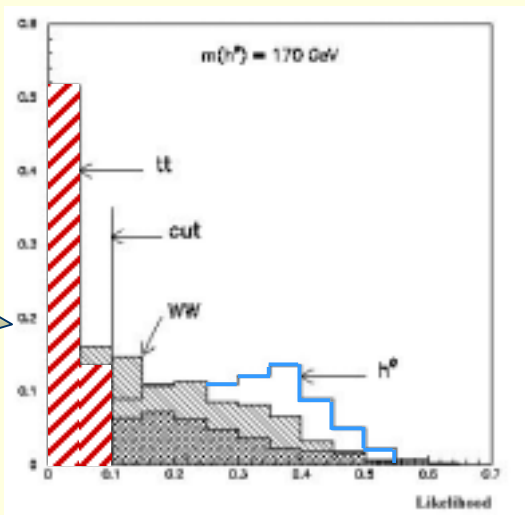
$$p^S_{v_i}(x_i) = \frac{v^S_i(x_i)}{\sum_{j=S,B} v^j_i(x_i)}$$

- Fonction de Vraisemblance:
  - Produit des probabiblités

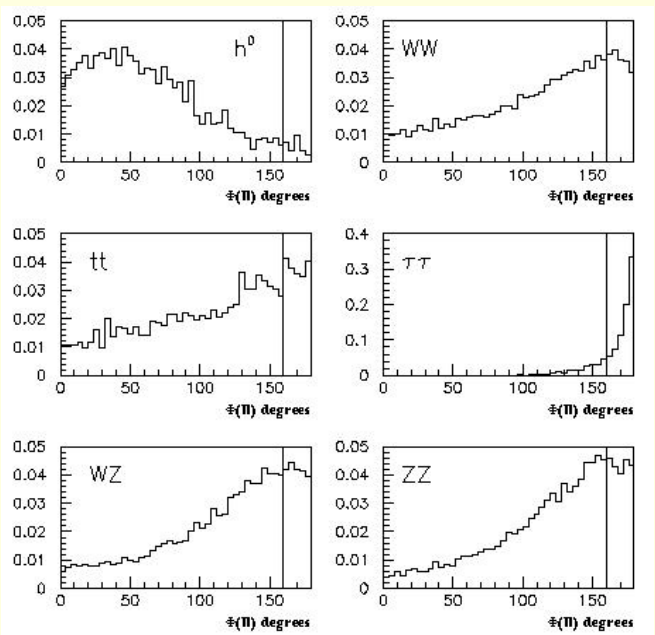
$$\mathcal{L}(\vec{x}) = \frac{\prod_{i=1}^{n} p^S_i(x_i)}{\sum_{j=S,B} \prod_{i=1}^{n} p^j_i(x_i)}$$

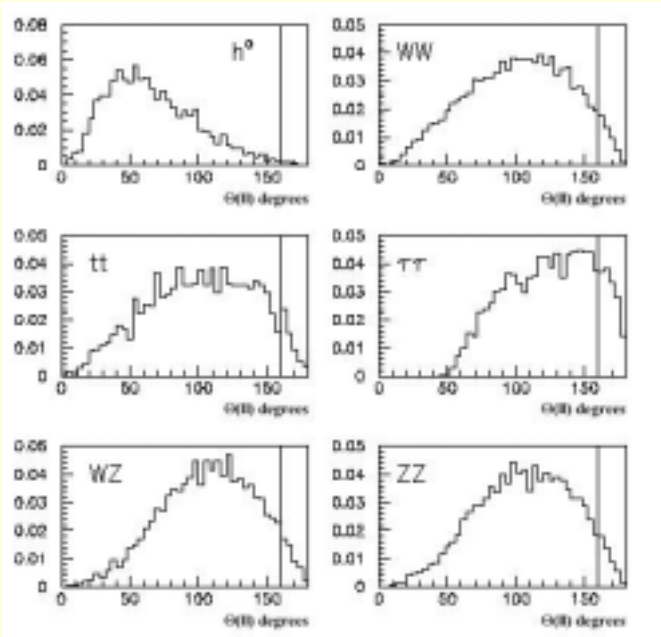
hypothèse d'indépendance des variables

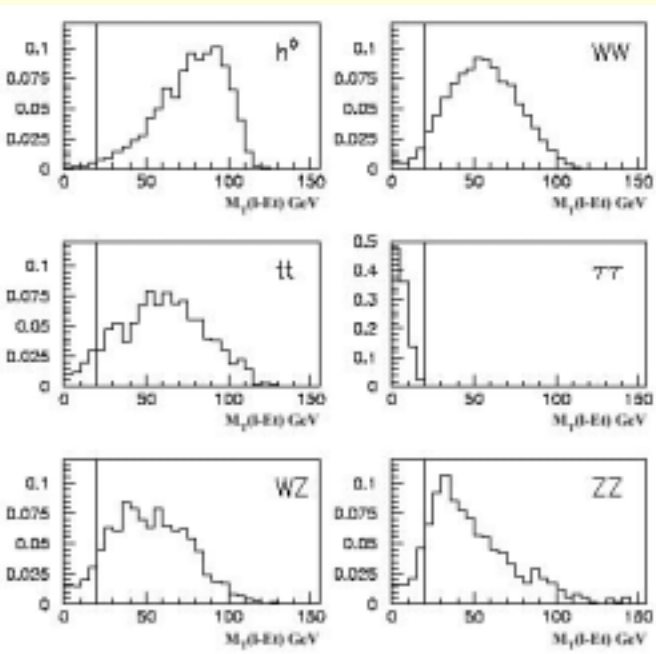
- Représentation:
  - hautes valeurs pour S
  - Coupure en f(vraisemblance)

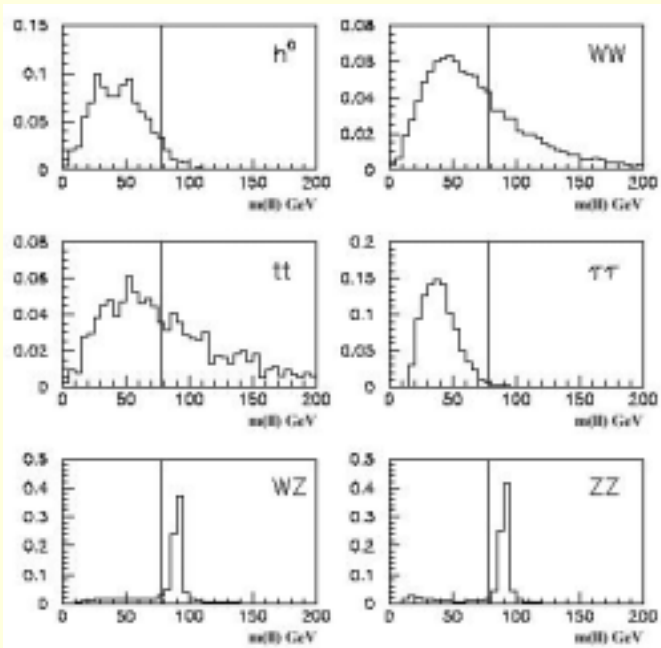


Le canal $H \rightarrow W^*W^* \rightarrow l^+l^-\nu\bar{\nu}$ (3)









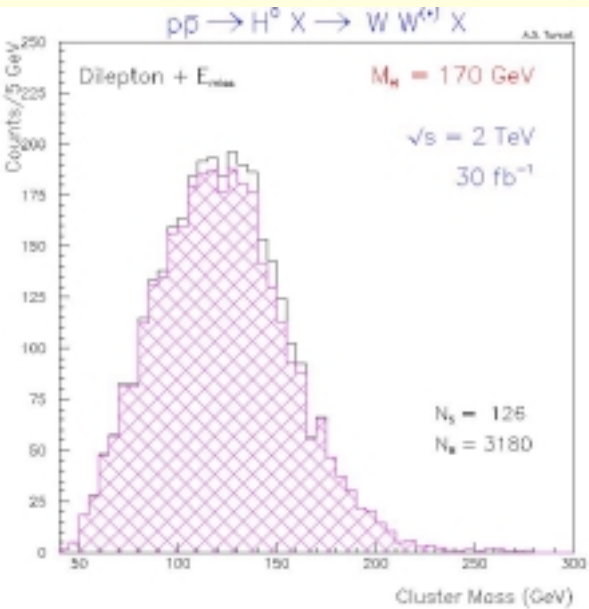
Le canal $H \rightarrow W^*W^* \rightarrow l^+l^-\nu\bar{\nu}$ (4)

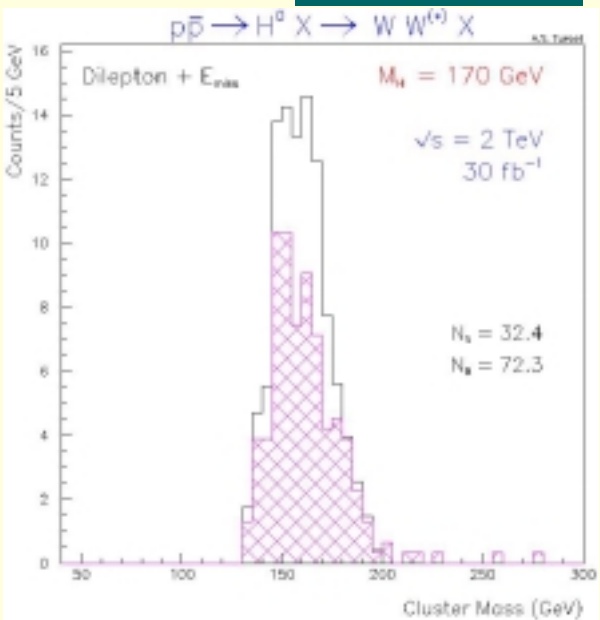
Performances

– Reconstruction de Masse des “clusters”:

$$M_C = \sqrt{p_T^2(ll) + m^2(ll)} + mE_T$$

A.Turcot / BNL





– Résultats pour 1 fb^{-1}

- Fonds dominants:

  WW, W+faux électrons, tt

S ~ 1-3 / fb^{-1}
S/B ~ 10-45%
Pas de distribution m_H

	m_H GeV/c²	150	160	170	180
likelihood	Signal	2.8	1.5	1.1	1.0
	S/B(%)	10%	34%	45%	25%
	S/√B	0.5	0.7	0.7	0.5

Recherche directe du Higgs: Les Higgs SUSY

Higgs neutres $\Phi = h, H, A$

$p\bar{p} \rightarrow \Phi b\bar{b} \rightarrow b\bar{b}b\bar{b}$

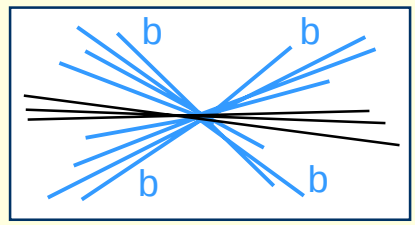
Higgs Chargés $H^{\pm}$

$p\bar{p} \rightarrow t\bar{t}$ avec $t \rightarrow H^{+}b$

Higgs SUSY: $p\bar{p} \rightarrow b\bar{b}\varphi \rightarrow b\bar{b}b\bar{b}$

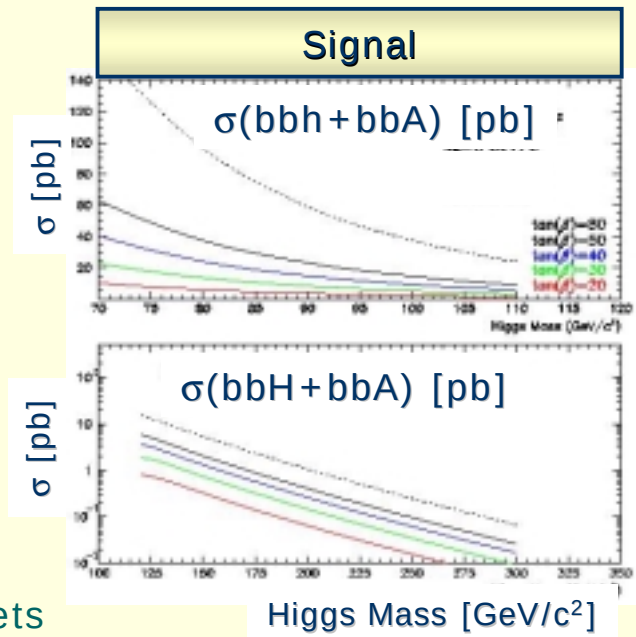
Caractéristiques

– Topologie Signal Φ=h,H,A
  - 4 jets de b
  - 2 jets provenant de Φ



– Sections efficaces:

Fonds	σ×BR [pb]
qq,gg →bbbb	2.40
pp → Zbb	0.49
pp → W(jj)bb	2.11
pp → bbjj	1610.8



Sélection

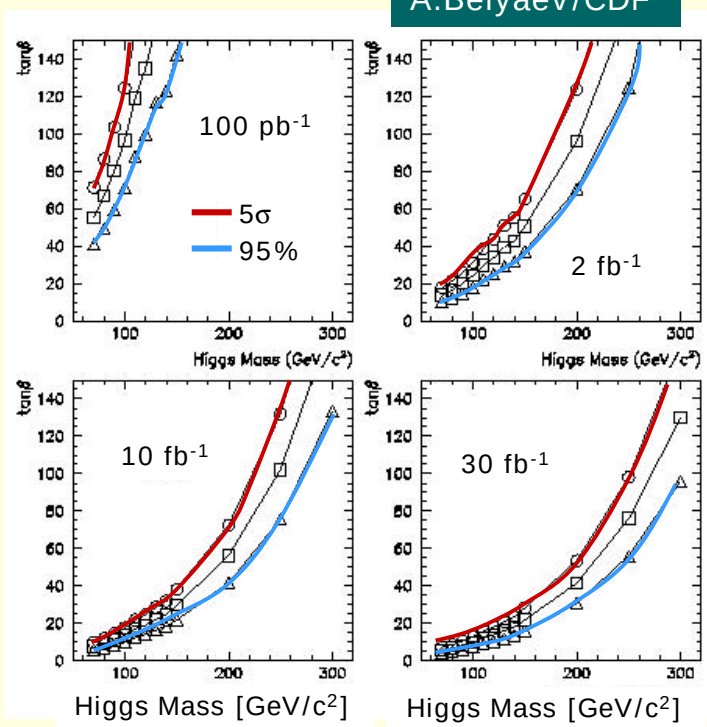
– Sélection pour φ = h,H,A
  - Déclenchement multi-jets
    E_T>125 GeV
  - 4 jets de b:
    ≥ 3 jets b-étiquetés ← élément crucial
  - Coupures $E_T(j) = f(m_\Phi)$
  - Topologie des jets b:
    ⇒ $\Delta\Phi(bb)$ (rej. g→bb)

Higgs SUSY: $p\bar{p} \rightarrow b\bar{b}\varphi \rightarrow b\bar{b}b\bar{b}$

Performances

- Paramètre-clef: l'étiquetage des b
- Analyses dans le plan ($m\Phi$,$\tan\beta$)

A.Belyaev/CDF



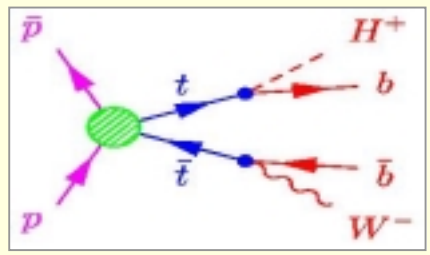
- Résultats attendus pour 1 fb^{-1}

	m_H GeV/c²	100	120	150	200
$\tan\beta=1$	Signal	0.012	0.005	----	-----
	$S/\sqrt{B}$	0.0013	0.0006	----	-----
$\tan\beta=40$	Signal	41.0	19.1	7.0	1.1
	$S/\sqrt{B}$	4.5	2.2	1.1	0.3

Higgs Chargés: $p\bar{p}\rightarrow t\bar{t}$ avec $t\rightarrow H^+b$

Méthode

- Selection paires $p\bar{p} \rightarrow t\bar{t}$:
  - Efficacité grande pour:
    $t\bar{t}\rightarrow W^+bW^-\bar{b}$
  - Efficacité réduite pour:
    $t\bar{t}\rightarrow H^+bW^+\bar{b}$, $H^+bH^-\bar{b}$
- Comparaison de σ_{mes} avec σ_{theo}
  - Fonction de (m_H , $\tan\beta$)



Si accord σ_{mes} vs $\sigma_{theorique}$
$\Rightarrow$ exclusion des régions de $BR(t\rightarrow H^+b)$ élevée

Sélection

- Deux analyses: $t\bar{t}\rightarrow W^+bW^+\bar{b}$
  - $WW \rightarrow \bar{l}\nu\ l\nu$
  - $WW \rightarrow l\nu\ jj$
- Variables discriminantes:
  - $\geq$1 lepton haut p_T
  - énergie manquante mE_T
  - énergie des jets E_T
  - Aplanarité
  - Energie totale hadronique H_T

Fonds à $t\bar{t}\rightarrow W^+bW^+b$

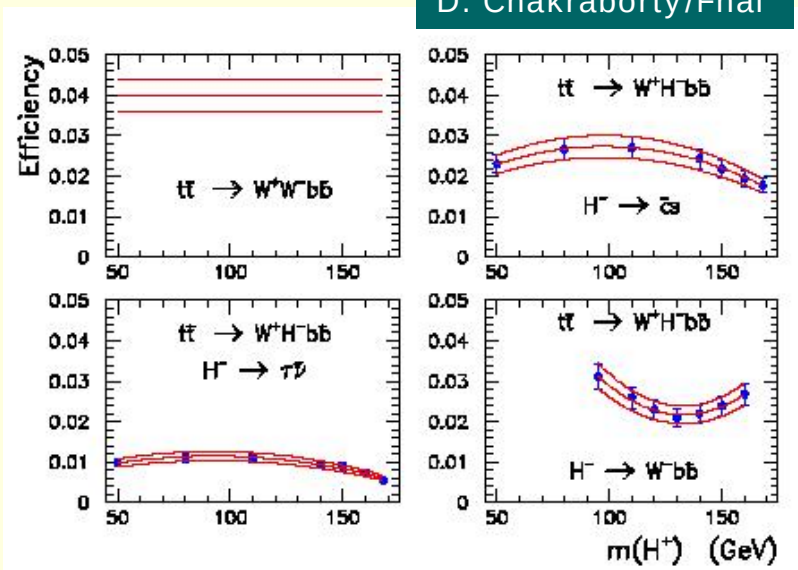
$t\bar{t}\rightarrow H^+H^-b\bar{b}$
- $\rightarrow$ cs cs
- $\rightarrow \tau\nu\ \tau\nu$
- $\rightarrow$ Wbb Wbb
- $\rightarrow$ Wbb $\tau\nu$
- $\rightarrow$ Wbb cs
- $\rightarrow \tau\nu$ cs

$t\bar{t}\rightarrow W^+H^-b\bar{b}$
- $\rightarrow$ cs
- $\rightarrow \tau^-\nu$
- $\rightarrow W^-bb$

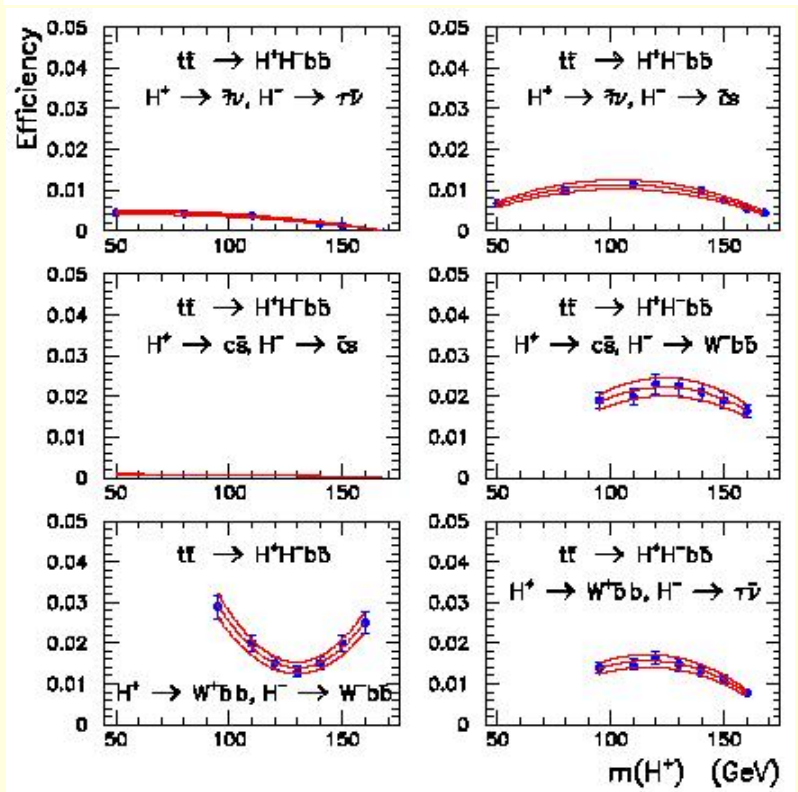
Higgs Chargés: $p\bar{p}\to t\bar{t}$ avec $t\to H^+b$

D. Chakraborty/Fnal

$t\bar{t}\to W^+H^-b\bar{b}$
$\to\bar{c}s$
$\to\tau^-\nu$
$\to W^-b\bar{b}$



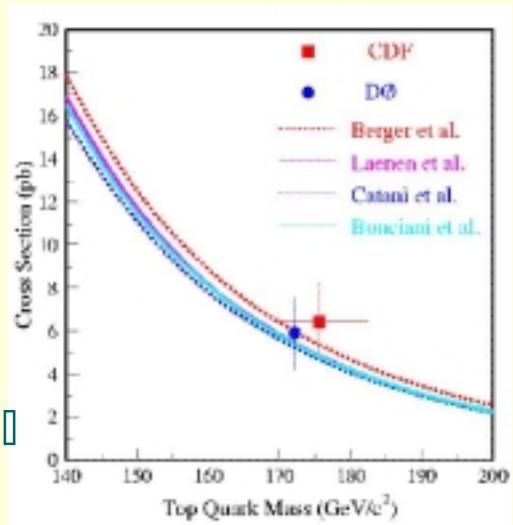
$tt\to H^+H^-bb$
$\to c\bar{s}\ \bar{c}s$
$\to\tau\bar{\nu}\ \bar{\tau}\nu$
$\to Wb\bar{b}Wb\bar{b}$
$\to Wb\bar{b}\ \tau\nu$
$\to Wb\bar{b}\ c\bar{s}$
$\to\tau\nu\ c\bar{s}$



Higgs Chargés: $p\bar{p}\rightarrow t\bar{t}$ avec $t\rightarrow H^+b$

Paramètres clefs

- Efficacité / désintégrations Higgs:
  - plus petite (ex cs: pas de lepton de haut p_T etc..)
  - combinée pour tous canaux en $f(m_H,\tan\beta)$
- Étiquetage des b
- Connaissance de:
  - $\sigma_{theo}(t\bar{t}\rightarrow WbW\bar{b})$



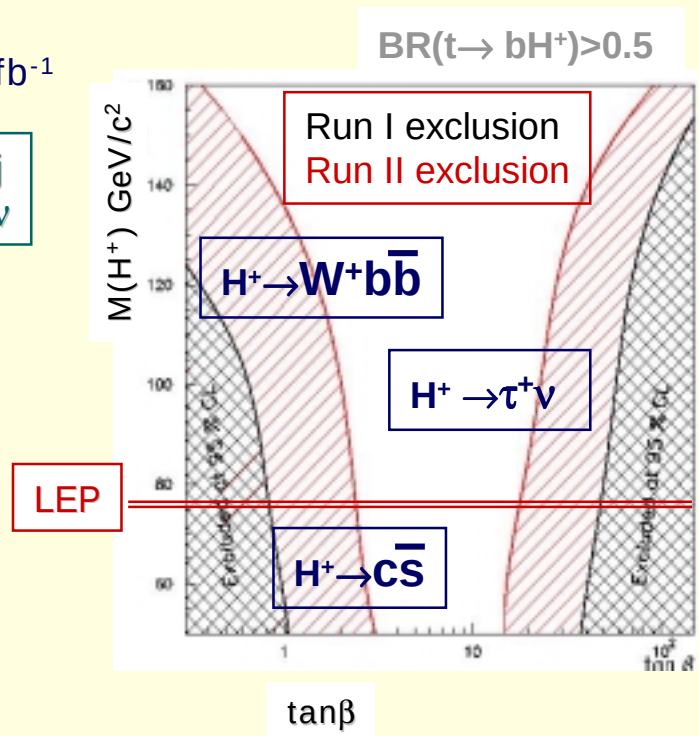
Performances

- Paires tt attendues /exp/1fb^{-1}

~1,900 $t\bar{t} \rightarrow WbW\bar{b} \rightarrow bl\nu\bar{b}jj$
~200 $t\bar{t} \rightarrow WbW\bar{b} \rightarrow bl\nu\bar{b}l\nu$

Dans le MS !

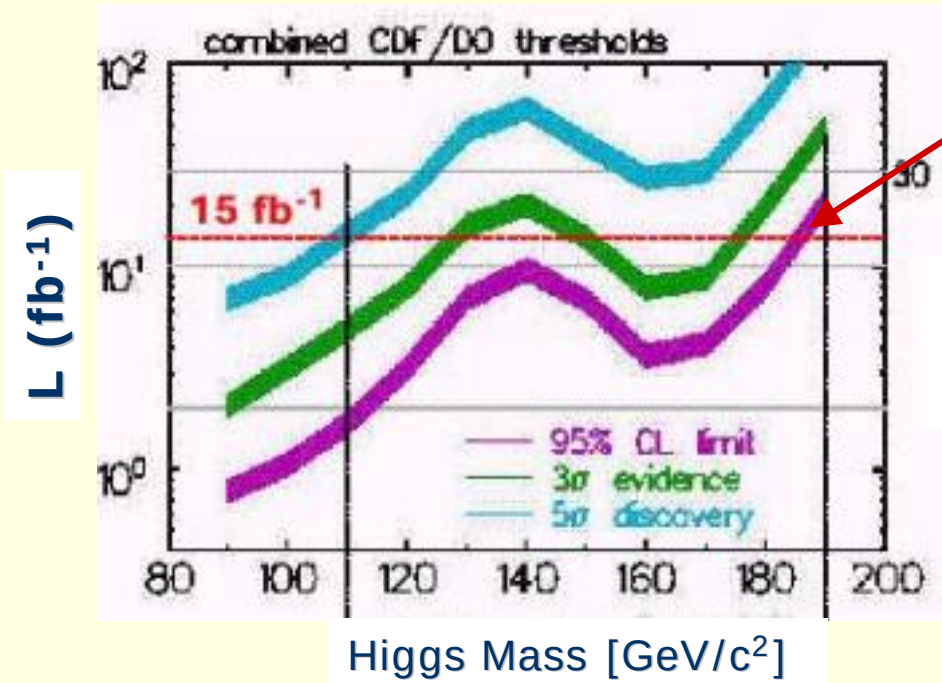
- Résultats pour 2 fb^{-1}:



Les perspectives...

Résultats

– Luminosité requise pour exclusion / découverte



Variation de 30% (syst)

Exclusion à 95%
Evidence à 3σ
Découverte à 5σ

Exclusion à 95% : jusqu'à m_H = 180 GeV/c^2
Découverte à 5σ : jusqu'à m_H ~115 GeV/c^2

Attention: études basées sur des hypothèses optimistes:
– résolution M(bb) améliorée de 30% vs Run I
– efficacité d'étiquetage +50% vs Run I
– bonne connaissance des fonds irréductibles

...et de bonnes raisons d'y croire

inspiré de P. Janot / Blois 99

Luminosité effective L_{eff} sur le Higgs ...

	Moyen	Effet / L_{eff}	Effet cumulé
Collisionneur	– Luminosité L = 15 fb^{-1}	× 150	
	– 2 expériences	× 2	
	– Energie $\sqrt{s}$ = 2 TeV	× 1.2	× 360
Détecteurs	– Acceptance géométrique	× 1.3	
	– Efficacité déclenchement	× 1.5	
	– Efficacité b-tag	× 1.4	
	– Résolution sur M(jj)	× 1.3	× 3.5
Analyse	– Réseaux NN	× 1.3	× 1.3
TOTAL			× 1640

...Gain de sensibilité d'1 facteur 1640 !

....What about m_H = 115 GeV ?

MORIOND QCD 2001

- **If Higgs is indeed here:**
  - Signal Evidence requires
    - ~5 fb^{-1} with 3 standard evidence (2004-5)
  - Expected number of events
    - per experiment with 15 fb^{-1} (2007)

Mode	Signal	Background	$S/\sqrt{B}$
$l\nu bb$	92	450	4.3
$\nu\nu bb$	90	880	3.0
$llbb$	10	44	1.5

  - If we do see something, we need to measure:
    - its Mass
    - Its production cross-section
    - Can we see $H \to \tau\tau$ (BR ~ 8%) ?
    - Can we see $H \to W^*W^*$ (BR ~ 5%) ?

- **If Higgs is not here:**
  - we can exclude a m_H = 115 GeV Higgs
    - at 95% CL with 2 fb^{-1} (2003)

Contraintes indirectes sur le Higgs

Le Higgs et les observables du SM

- Paramètres du Modèle Standard
- Lien entre m_H et m_t, m_W, $\sin^2\theta_W^{eff}$

Les contraintes sur m_H

- Mesures de m_t
- Mesures de m_W
- Bilan

Paramètres fondamentaux dans le MS

Les paramètres fondamentaux du MS

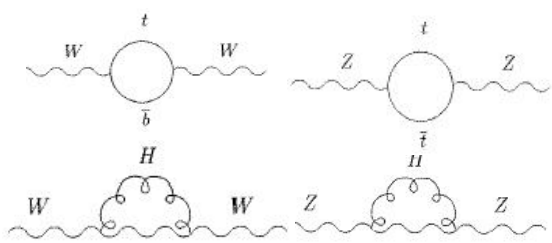
- Choix des paramètres les mieux connus expérimentalement
- Prédictions à partir de:

Paramètre	Désignation	
G_μ	Constante de Fermi	
$\alpha(0)$	Constante structure fine	Ordre 0
M_Z	Masse du boson Z	de la théorie
m_f	Masses des fermions (x6)	Corrections
m_H	Masse du Higgs	radiatives

Les corrections radiatives

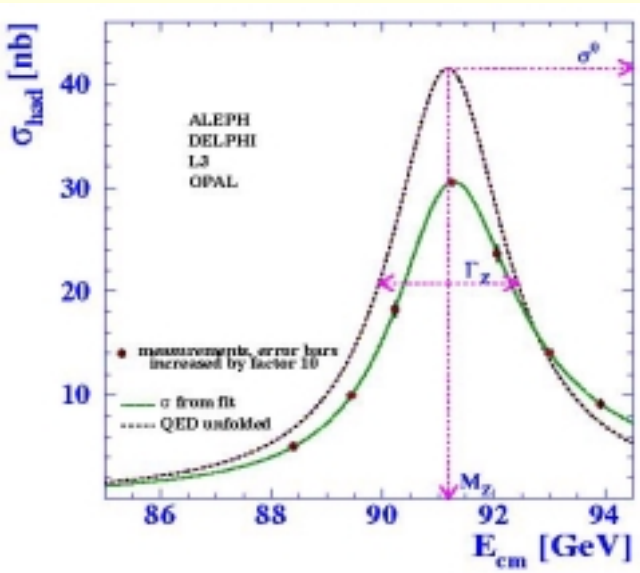
- Formalisme des “couplages effectifs” (LEP+SLC)

$$\alpha_{em}(s)\ ,\quad \rho(\equiv m_W^2/m_Z^2\cos^2\theta_W),\quad \sin^2\theta_W^{eff}(g_V,g_A)$$

Définition	Dépendance en m_t et m_H
$\rho \approx 1 + \Delta\rho =$ $1 + \alpha/\pi\ m_t^2/m_Z^2$ $- \alpha/4\pi \ln(m_H^2/m_W^2)$	
$\sin^2\theta_W^{eff} \equiv ¼(1-g_V^l/g_A^l)$	$g_A^l = -1/2\ \sqrt{1-\Delta\rho}$ $g_V^l = g_A^l(1-4\sin^2\theta_W^{eff})$

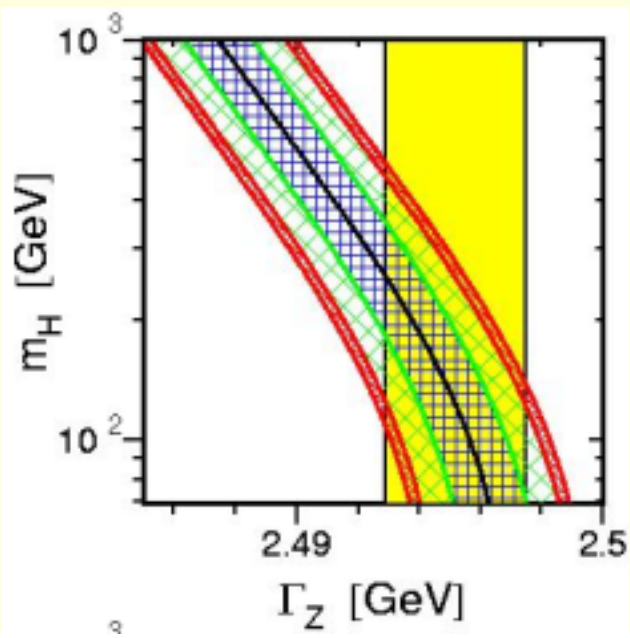
Observables du MS: lineshape

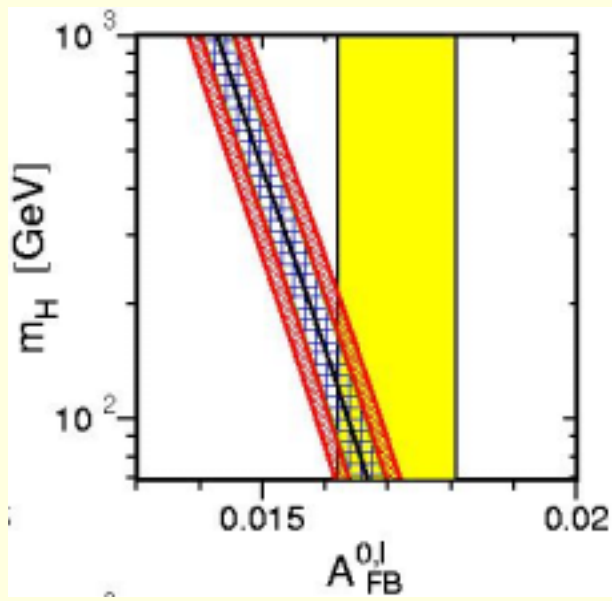
Observables au pôle du Z



Observable	Role
M_Z	input
Γ_Z	$\Delta\rho$
σ^0_{had}	$N_\nu \Gamma_{inv}/\Gamma_l$
Γ_{had} / Γ_{lep}	$\sin^2\theta_W^{eff}$
A^{0l}_{FB}	$\sin^2\theta_W^{ef}$

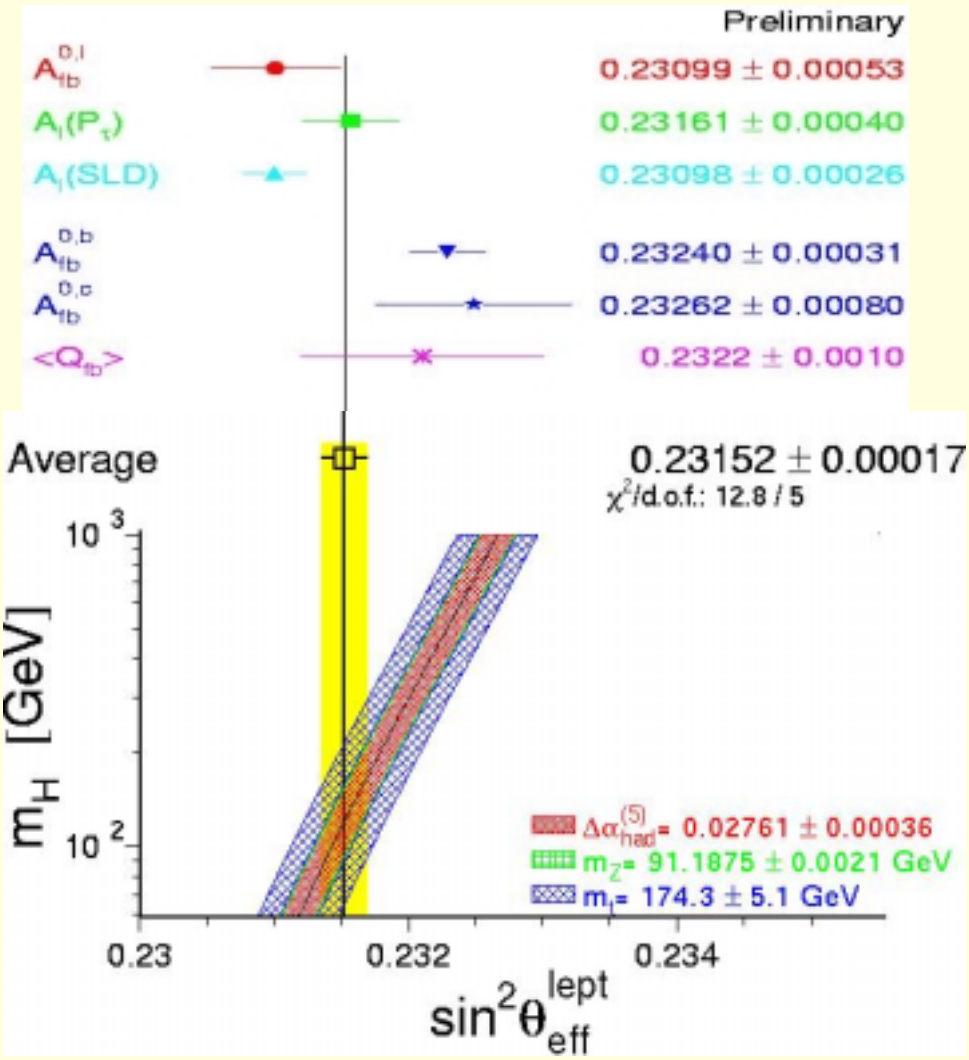
Contraintes sur m_H dans le MS





Observables du MS: $\sin^2\theta_W^{eff}$

Observables au pôle du Z



Observables du MS: m_W

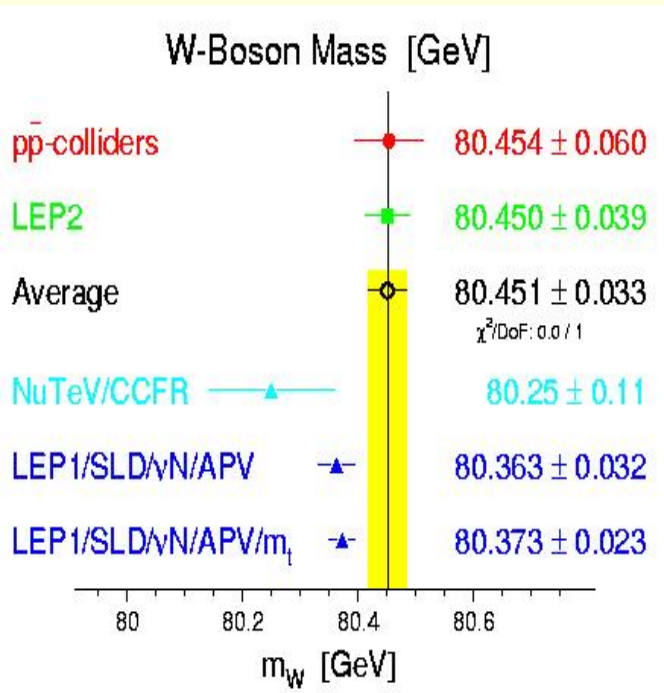
Détermination de m_W

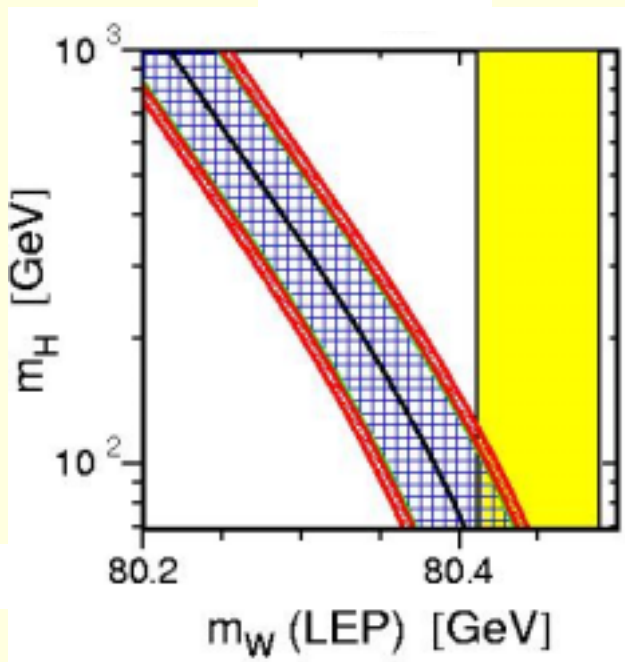
- Indirecte (MS):
  - Ajustement données LEP I+SLD+νN+m_t

m_W = 80.373±0.023 GeV/c²

- Directe:
  - Mesure LEP II
  - Mesure TeVatron

m_W = 80.450±0.033 GeV/c²

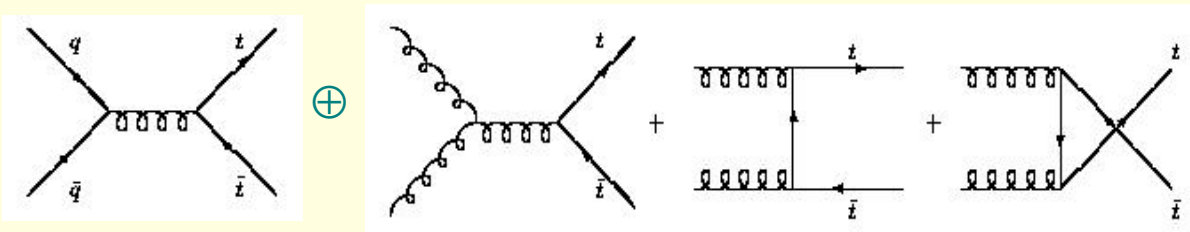




Le Quark Top au TeVatron

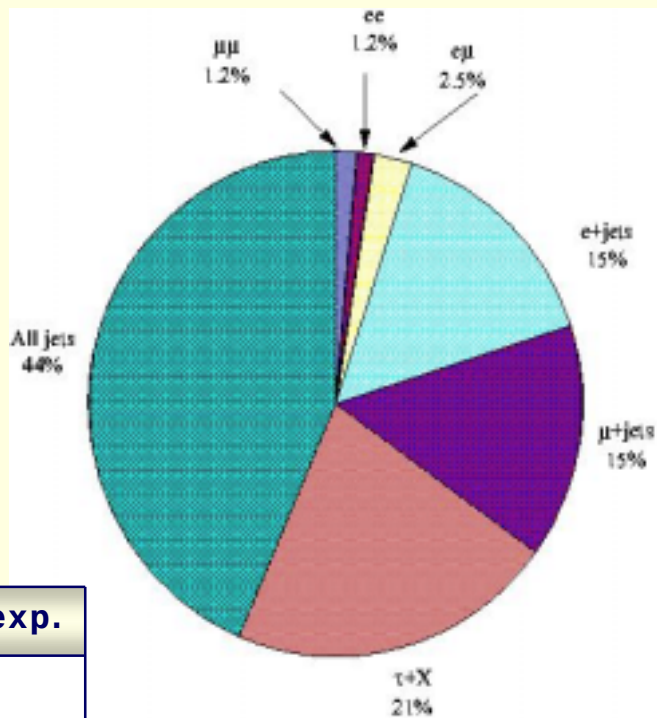
Production de paires de quarks Top

– anihilation de quarks ⊕ fusion de gluons



– Section efficace de production:

- σ_{tt} = 5.5 pb / 1.8 TeV
- σ_{tt} = 7.5 pb / 2.0 TeV



Désintégrations du Top

– Classification états finaux:

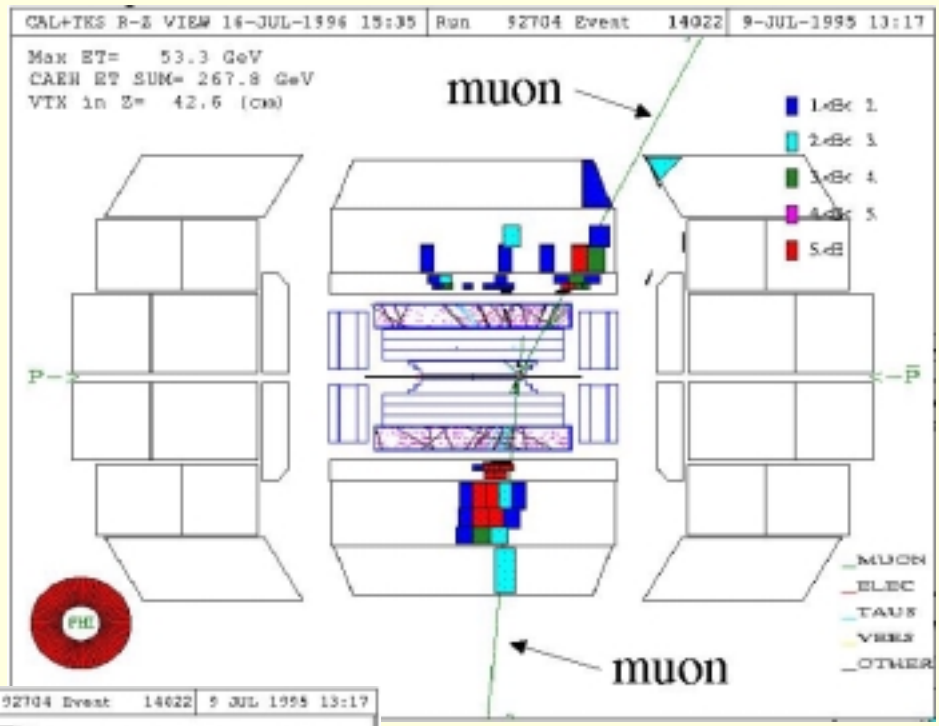
bjj+blν ⇒ "jets+leptons"

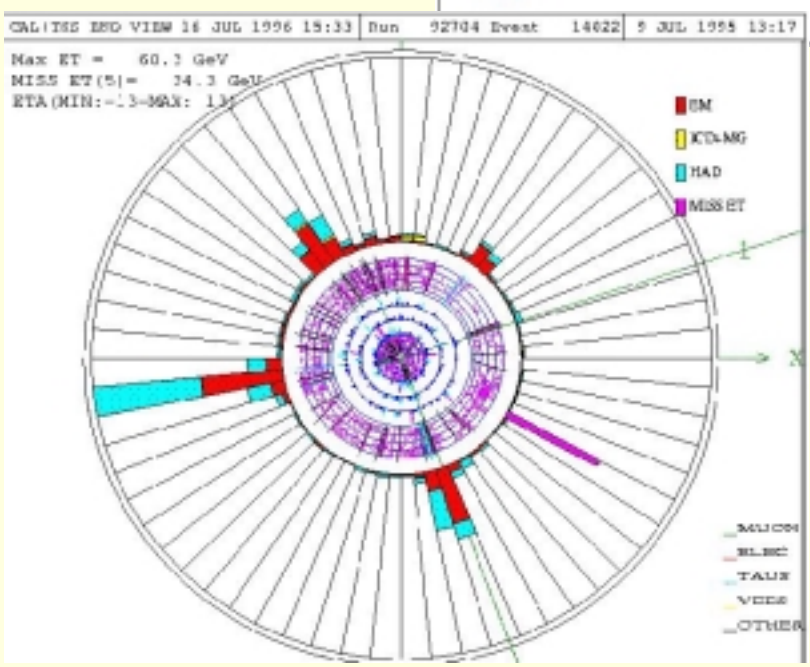
blν+blν ⇒ "di-leptons"

bjj+bjj ⇒ "all-jets"

Processus	Canal	1 fb^{-1} / exp.
tt+X	di-lepton	100
	l+≥4jets	900
	l+≥4jets/b-tag	700
	l+≥4jets/bb-tag	300
t+X		170

Le Quark Top au TeVatron





Masse du Top: “lepton+jets”

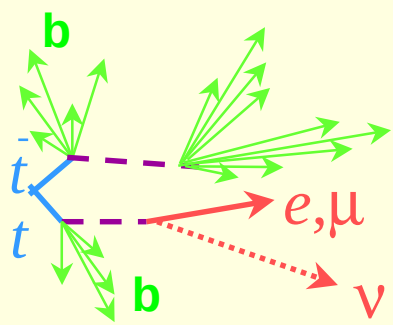
Sélection des événements (type “Run I”)

- 1 lepton isolé, $\not{E}$
- ≥ 4 jets “leading jets”
- Etiquetage du b
- Ajustement cinématique (2C):
  - 24 variables, 1 libre
  - 3 contraintes:

    $M(l\nu) = M_W$, $M(qq') = M_W$

    $M(l\nu b) = M(bqq')$

  ⇒ combinaison de meilleur m_{fit} ,$\chi 2$
- Fonction de vraisemblance:
  - densité probabilité D = Π S/B per evt



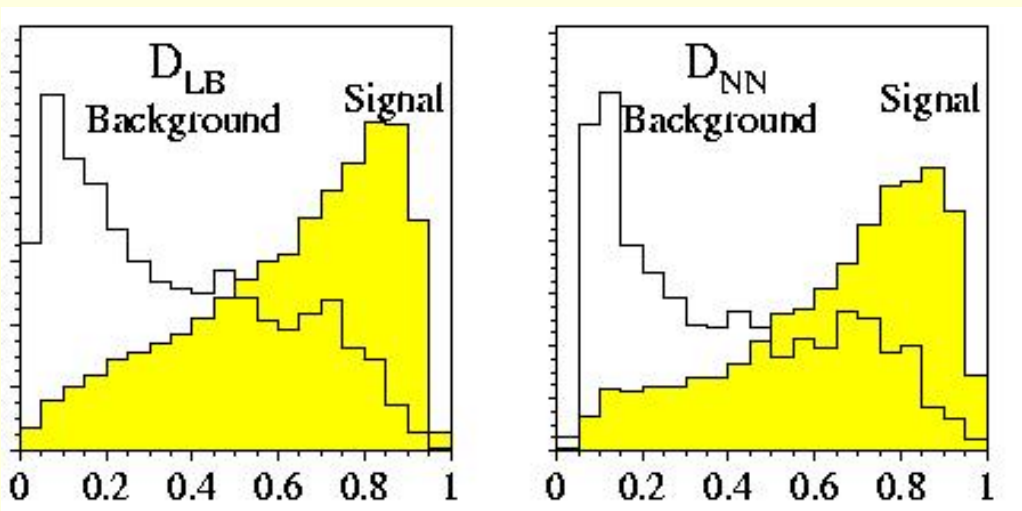
“Aplanarité”

“centralité”

$$x_1 = \not{E}_T \qquad x_2 = A$$

$$x_3 = \frac{H_{T2} \equiv H_T - E_T^{jet1}}{|p_z(l)| + |p_z(\nu)| + \sum_j |p_z(j)|} \qquad x_4 = \frac{\Delta R_{jj}^{min} E_T^{min}}{E_T^L}$$

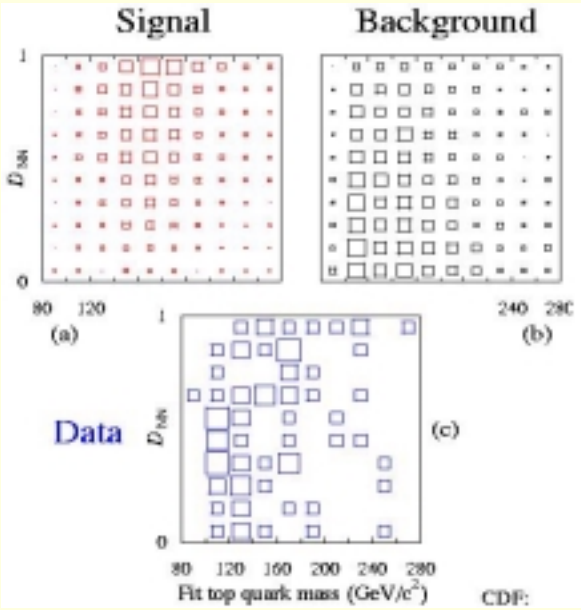
“vs gluon rad”

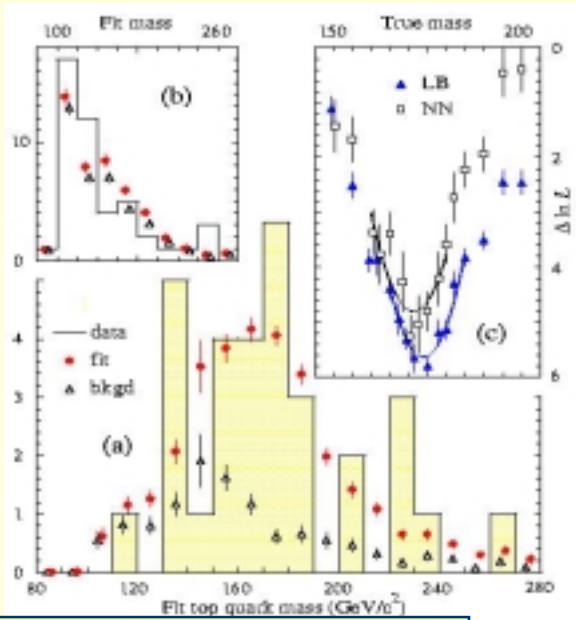


Masse du Top: “lepton+jets”

Détermination de m_t (hep-ex/9801025)

- Ajustement likelihood $L(m_t) = D/1+D$ dans le plan (m_t, D)
- 91 événements (7 b-tags)





$$m_t = 173 \pm 5.6(\text{stat}) \pm 5.4(\text{syst})\ \text{GeV}/c^2$$

Systématiques	Δm_t (GeV/c²)
Echelle d’energie Jet	4.0
Fond W+jets	2.5
tt QCD radiation	1.9
Bruit & int. multiples	1.3
MC statistique	0.9
Fit Likelihood	1.0
TOTAL	**5.5**

Masse du Top: “di-leptons”

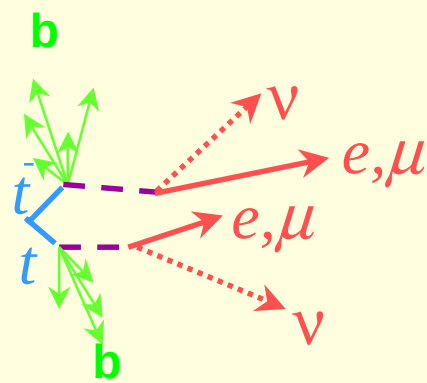
Sélection des événements

- 2 leptons isolés + Energie manquante
- Ajustement Cinématique:
  - 24 variables, 4 libres (2ν)
  - 3 contraintes : (-1C)

    M(lν) = MW , M(l’ν’)=MW

    M(blν) = M(bl’ν’)

  ⇒ solution en supposant connue m_t



- Fonction de Vraisemblance: $P(mt \mid \{o_i\}) \propto P(\{o_i\} \mid mt)$
  - de la cinématique & espace des phases de tt
  - des variables cinématiques $\{o_i\}$ (MC)
  - des fonction de résolution du détecteurs
  - de l’assignation des jets

  ... consommateur de temps CPU !

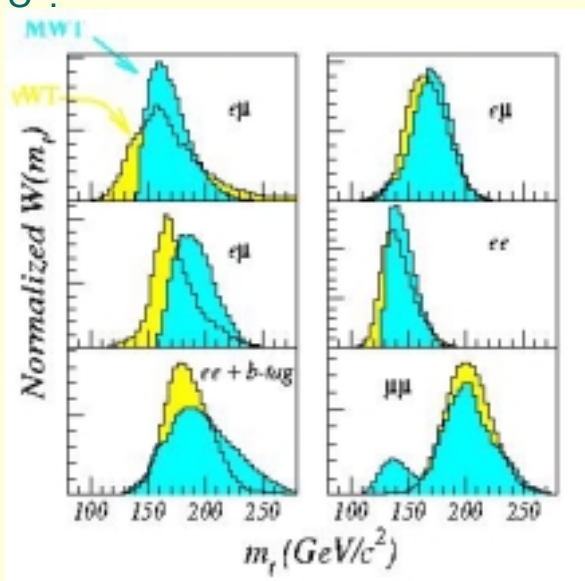
- Modélisation simplifiée:

  Variables des neutrinos (νWT)

  ⇒ poids W fonction de mt

  Pondération Element de Matrice (MWT)

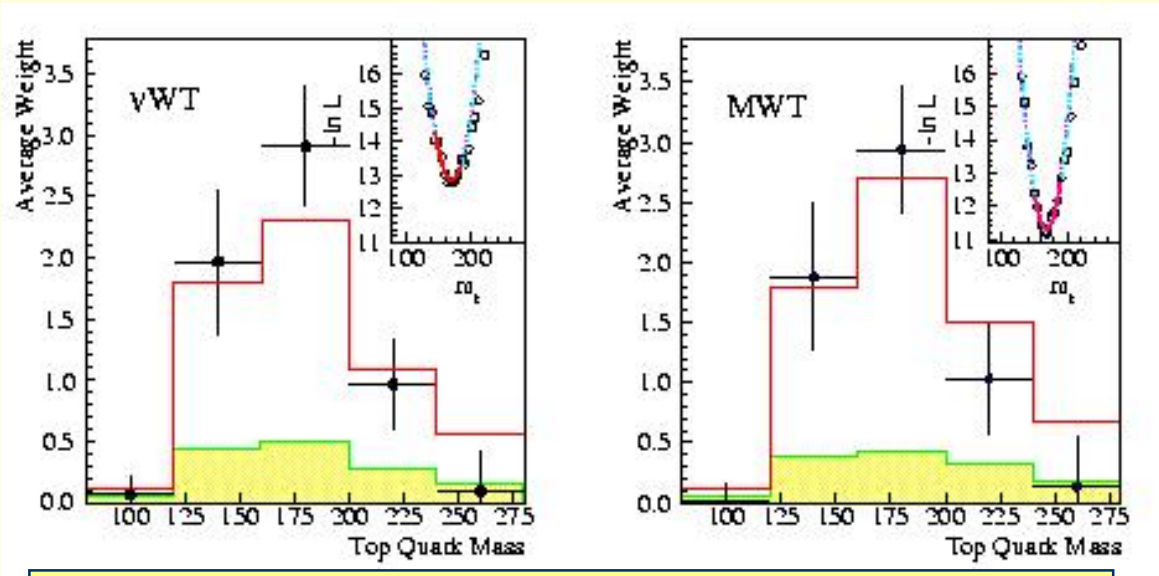
- Data vs MC(signal+fonds)



Masse du Top: “di-leptons”

Détermination de m_t (Abott et al., hep-ex/980829)

- Ajustement likelihood –ln L(m_t)
- 6 evts (2 ee, 3 eμ, 1 μμ)



m_t = 168.4 ± 12.3(stat) ± 3.6(syst) GeV/c2

Systématique	Δm_t (GeV/c^2)
Echelle d’énergie Jet	2.4
Générateur Fond	1.8
Générateur Signal	1.1
Bruit & int. multiples	1.3
Fit Likelihood	1.1
MC statistique	0.3
TOTAL	**3.6**

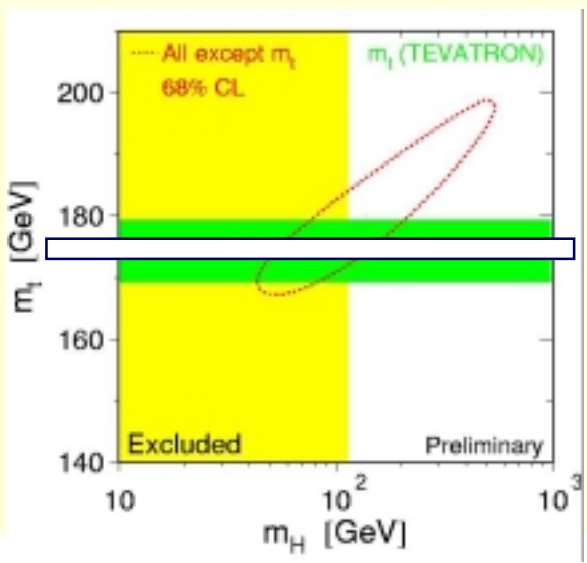
Masse du Top au Run II

Perspectives au Run II

- Capacité de sélections accrues:
  - Calibration des jets p_T utilisant les data:
    Z+jets , γ+jets, W$\rightarrow$jet jet, Z $\rightarrow$bb
  - Contraintes simulations par data
  - Meilleure identification des e/μ
  - Meilleure systématique avec double-étiquetage du b

Incertitudes	Run I	Run II (2 fb^{-1})
Energie Jet	4.0 GeV	2.2 GeV
Générateur Fond	2.5 GeV	0.7 GeV
Générateur Signal	1.9 GeV	0.4 GeV
Ajust. Likelihood	1.1 GeV	0.3 GeV
Systématiques	**5.5 GeV**	**2.3 GeV**
Statistitiques	**5.6 GeV**	**1.3 GeV**
TOTAL	**7.8 GeV**	**2.7 GeV** LEP

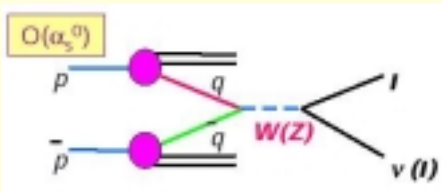
[2 fb^{-1}] : Δm_t = 2.7 GeV/c^2
[15 fb^{-1}]: Δm_t = 1.5 GeV/c^2

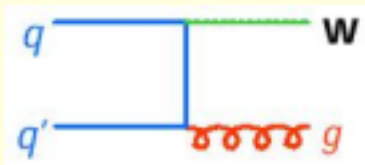


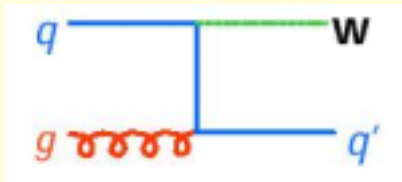
Production des bosons W/Z

Production des bosons

– Graphes d'anihiliation/échange:







– Sections efficaces :

$\sigma(pp \to W+X) \sim 7$ nb

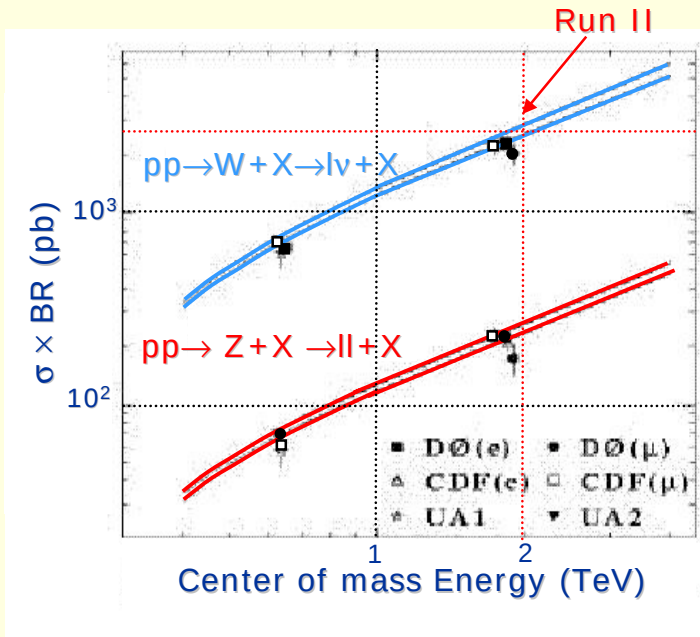
$\sigma(pp \to Z+X) \sim 0.2$ nb

– Modes utilisés au Run II:

$W \to e\nu, \mu\nu$ (~11%)

$Z \to ee, \mu\mu$ (~ 3%)

$Z \to bb$ (~15%)



– Statistique attendue

Processus	Run I	Run II /1 fb^{-1}
$pp \to W(\to l\nu)+X$	70×10^3	1.6×10^6
$pp \to Z(\to ll)+X$	?	0.16×10^6
$pp \to WW,WZ,ZZ$ ($\geq 2l$)	?	150

Masse du boson W au Run I

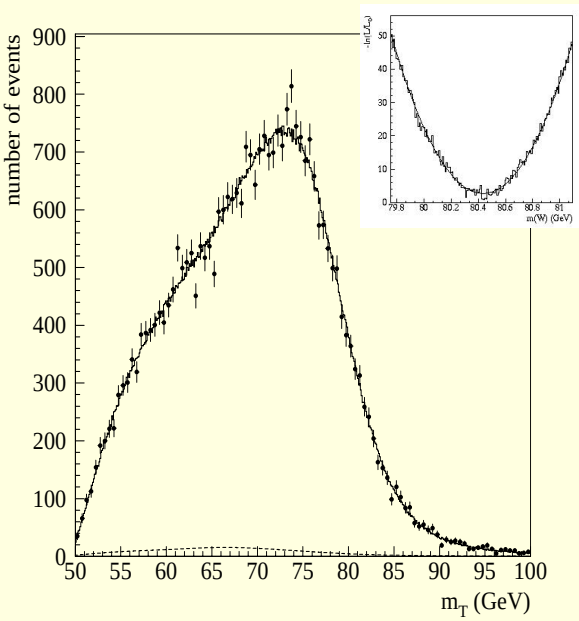
Mesures de m_W

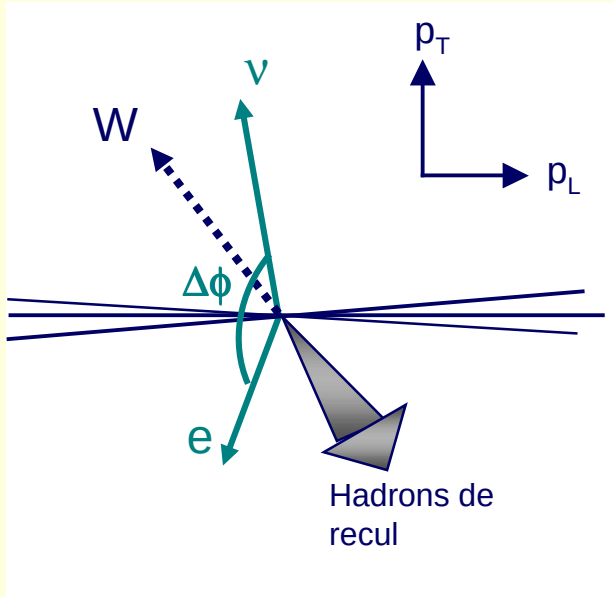
- Masse transverse:

  $M^T_W = \sqrt{2 P_T^e P_T^\nu (1 - \cos\Delta\phi)}$

- Résultats DØ:

  $m_W = 80.48 \pm 0.09$ GeV/c²





Incertitudes	Run I
Statistitiques	65 MeV
Energie Jet	75 MeV
Recul (Modèle)	37 MeV
Résolution Detecteur	25 MeV
PDF's	15 MeV
$P_T(W)$	15 MeV
TOTAL	**92 MeV**

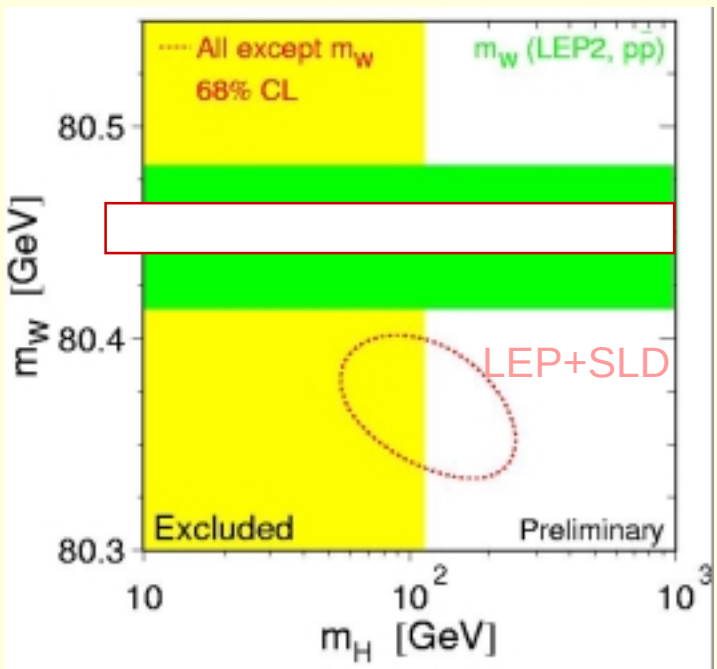
Masse du boson W au Run II

Perspectives au Run II

- Statistiques:
  - Diminue à <20 MeV (limité par # int./croisement)
- Résolution & réponse du détecteur:
  - Taille des échantillons de calibration (Z,J/Ψ,Υ)
- Modèle de production Monte Carlo:
  - Contrainte des fonctions de structure partoniques (pdf)
  - Contrainte sur la production de W,Z visible (spectre $p_T^{W/Z}$)
- Autres options pour la mesure de m_W
  - Masse a partir du spectre en pT de l'électron (sensible à p_T^W)
  - mesure du rapport M_T^W / M_T^Z (utilise LEP, sensible à l'acceptance du neutrino)
- Projections:

[2 fb^{-1}] : Δm_W = 40 MeV/c^2

[15 fb^{-1}]: Δm_W = 15 MeV/c^2



Contraintes indirectes sur m_H

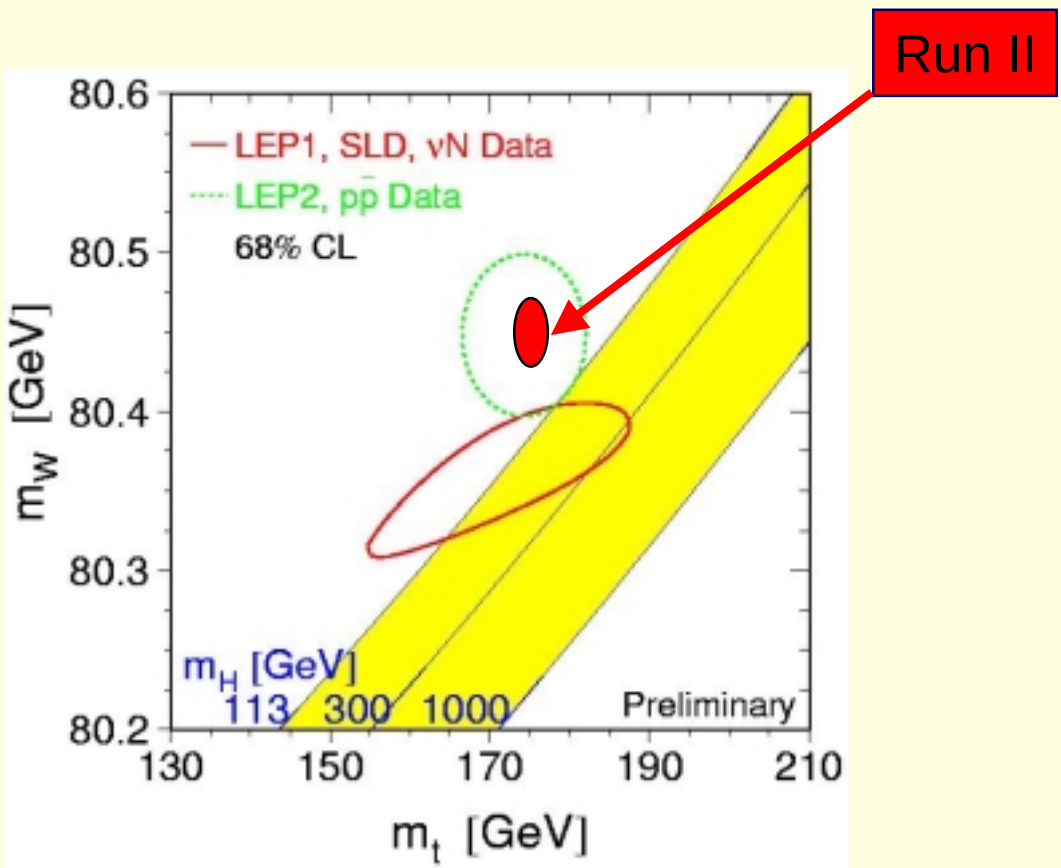
Projection sur m_H

- Mesures des masses m_t ,m_W au TeVatron ($15 fb^{-1}$)

$\Delta m_W = 15$ MeV/c^2

$\Delta m_t = 1.5$ GeV/c^2

- Vérification de la cohérence des résultats sur m_W
  - Cohérence SLC/LEP des mesures de $\sin^2\theta_W^{eff}$
  - Cohérences des mesures quarks lourds / lepton



Conclusion Générale

Le Run II du TeVatron etait *initialement* destiné:

- aux mesures de précision
- à la Physique du B
- à la recherche de signes de SUSY

Néanmoins....

... un Run haute luminosité est prometteur pr le Higgs

- Le collisionneur a été profondément remanié:
  - Luminosité prévue de 15 fb^{-1} / expérience / 2007
  - Energie de collision à 2 TeV
- Les 2 détecteurs ont été significativement amélioréees:
  - Meilleurs tracking , Vertexing
  - Meilleures capacités d'identification
  - Capacités de déclenchement accrues
- Des outils spécifiques aux Higgs sont développés:
  - Energie flow / résolution sur M(jj)
  - Etiquetage du b
  - Réseaux de neurones / likelihood

...surtout si celui-ci est autour de 115 GeV/c^2 !!!

...What about m_H=115 GeV/c^2 ?

MORIOND QCD 2001

- **If Higgs is indeed here:**
  - Signal Evidence requires
    - ~5 fb^{-1} with 3 standard evidence (2004-5)
  - Expected number of events
    - per experiment with 15 fb^{-1} (2007)

Mode	Signal	Background	$S/\sqrt{B}$
$l\nu bb$	92	450	4.3
$\nu\nu bb$	90	880	3.0
$llbb$	10	44	1.5

  - If we do see something, we need to measure:
    - its Mass
    - Its production cross-section
    - Can we see $H\rightarrow\tau\tau$ (BR ~ 8%) ?
    - Can we see $H\rightarrow W^*W^*$ (BR ~ 5%) ?

- **If Higgs is not here:**
  - we can exclude a m_H = 115 GeV Higgs
    - at 95% CL with 2 fb^{-1} (2003)