

# La recherche du Higgs au TeVatron Run II

Arnaud Lucotte



*collaboration DØ*

Introduction: Le contexte au Run II

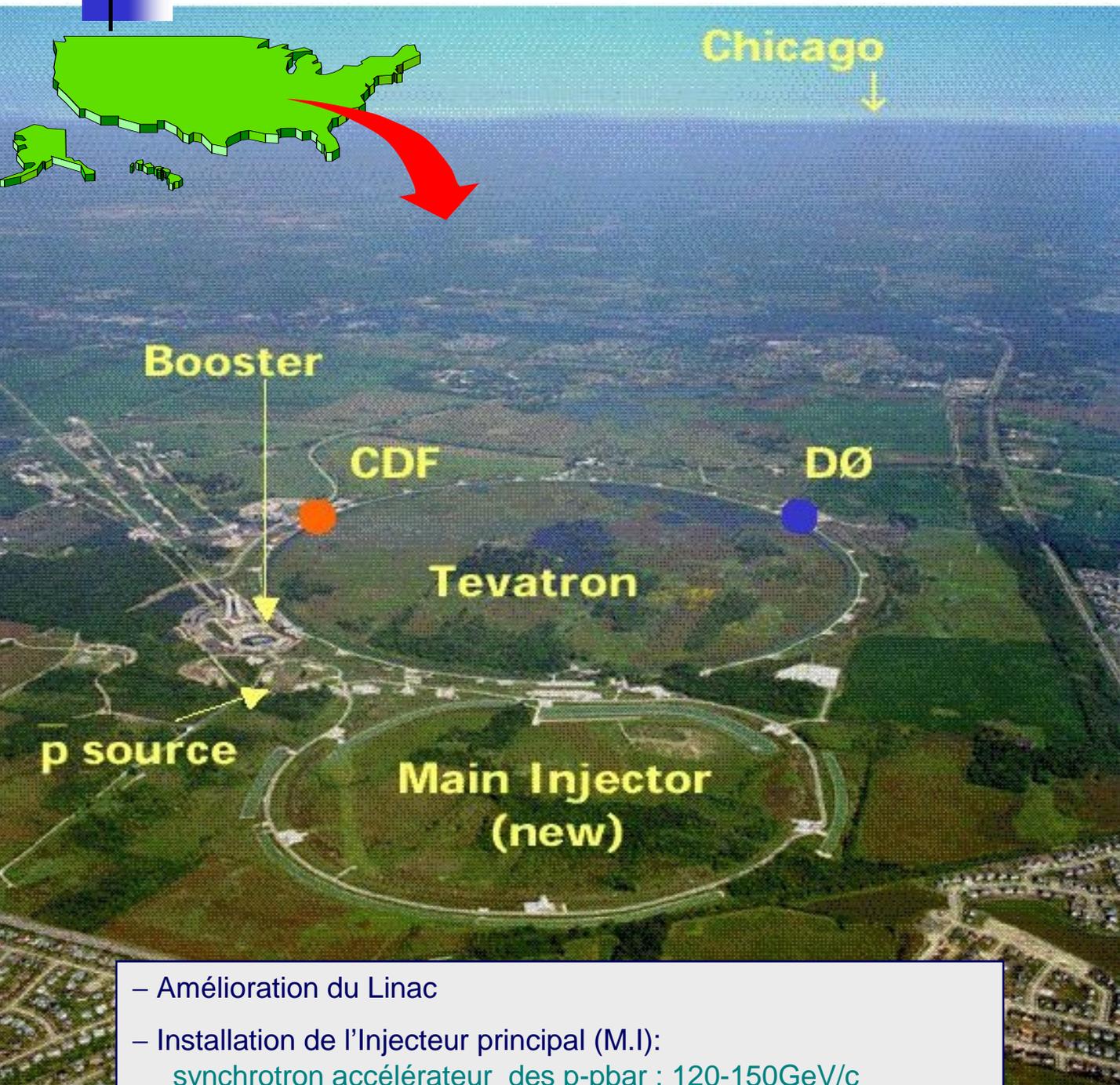
I. Le nouveau détecteur DØ

II. La recherche directe du Higgs

III. La recherche indirecte du Higgs

Conclusion

# Le TeVatron au Run II



- Amélioration du Linac
- Installation de l'Injecteur principal (M.I):  
synchrotron accélérateur des p-pbar : 120-150GeV/c
- Installation du Recycleur (MI):  
anneau de stockage / aimants supraconducteurs  
refroidissement / stockage / recyclage des anti-protons

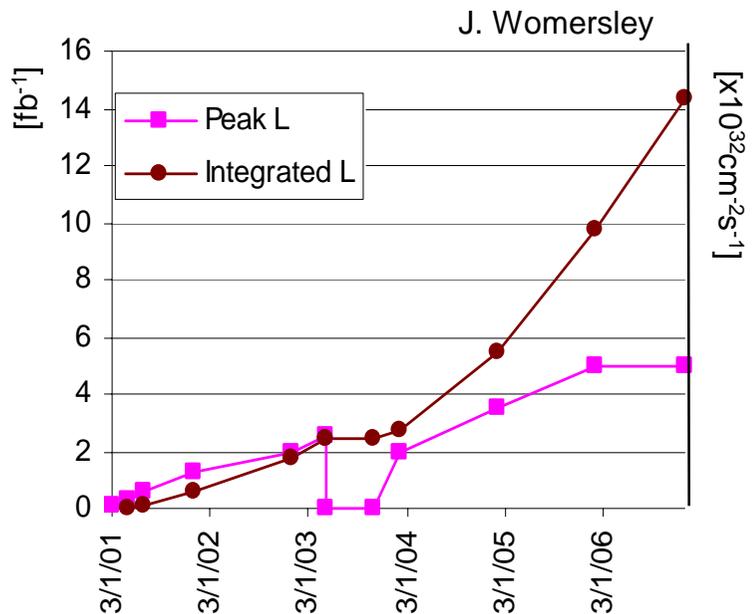
# Programme du Run II

## Paramètres machine:

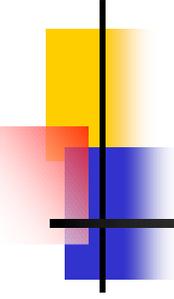
	Run Ib	Run IIa	Run IIa	Run IIb
Bunch Trains	6x6	36x36	140x108	140x108
Bunch Spacing (ns)	3,500	396	132	132
Luminosity $\times 10^{32} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$	0.16	0.8	2.1	5.2
Intgr. Luminosity ( $\text{fb}^{-1}/\text{exp.}$ )	0.1	1.1	2.1	14.8
CM Energy (GeV)	1,800	2,000	2,000	2,000
interactions/crossing	2.6	2.3	1.9	4.8

## Programme:

- 132ns / fin 2002
- $2 \times 10^{32} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$  / fin 2003
- Arrêt Machine pour remplacement Silicium /fin 2003 (/deb. 2004)
- $5 \times 10^{32} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$  / 2005
- $4 \text{fb}^{-1}$  / an jusqu'en 2007



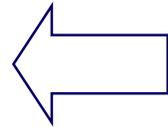
**15  $\text{fb}^{-1}$  / experience en fin 2007**



# Motivations physiques du Run II

## Test de précision du Modèle Standard:

- Propriétés du quark Top  
Mesure de masse,  $BR(t \rightarrow Wb)$ ,  $\sigma(ttbar)$ ...
- Propriétés des bosons W/Z:  
Mesure de  $Z \rightarrow bb$ ,  $m_W$ ,  $\Gamma_W$ ,  $\sin^2\theta_W$   
importance pour contraintes sur la masse du Higgs

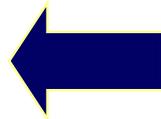


## Physique du B

- Mesure d'oscillations du  $B_s$   
détermination de  $\Delta m_s / \Delta m_d$   
seule machine avant le LHC
- Mesure de la violation CP dans  $\overline{B}_d^0 - B_d^0$   
détermination de  $\sin 2\beta$
- Spectroscopie, masses, tps de vie des mésons B
- Désintégration rares du B
- Test de QCD – production de b-bbar

## Recherche directe de Higgs (run II étendu)

- Higgs de basse masse  $H \rightarrow bb$  ( $m_H < 130 \text{ GeV}/c^2$ )
- Higgs de haute masse  $H \rightarrow WW^*$  ( $m_H < 180 \text{ GeV}/c^2$ )



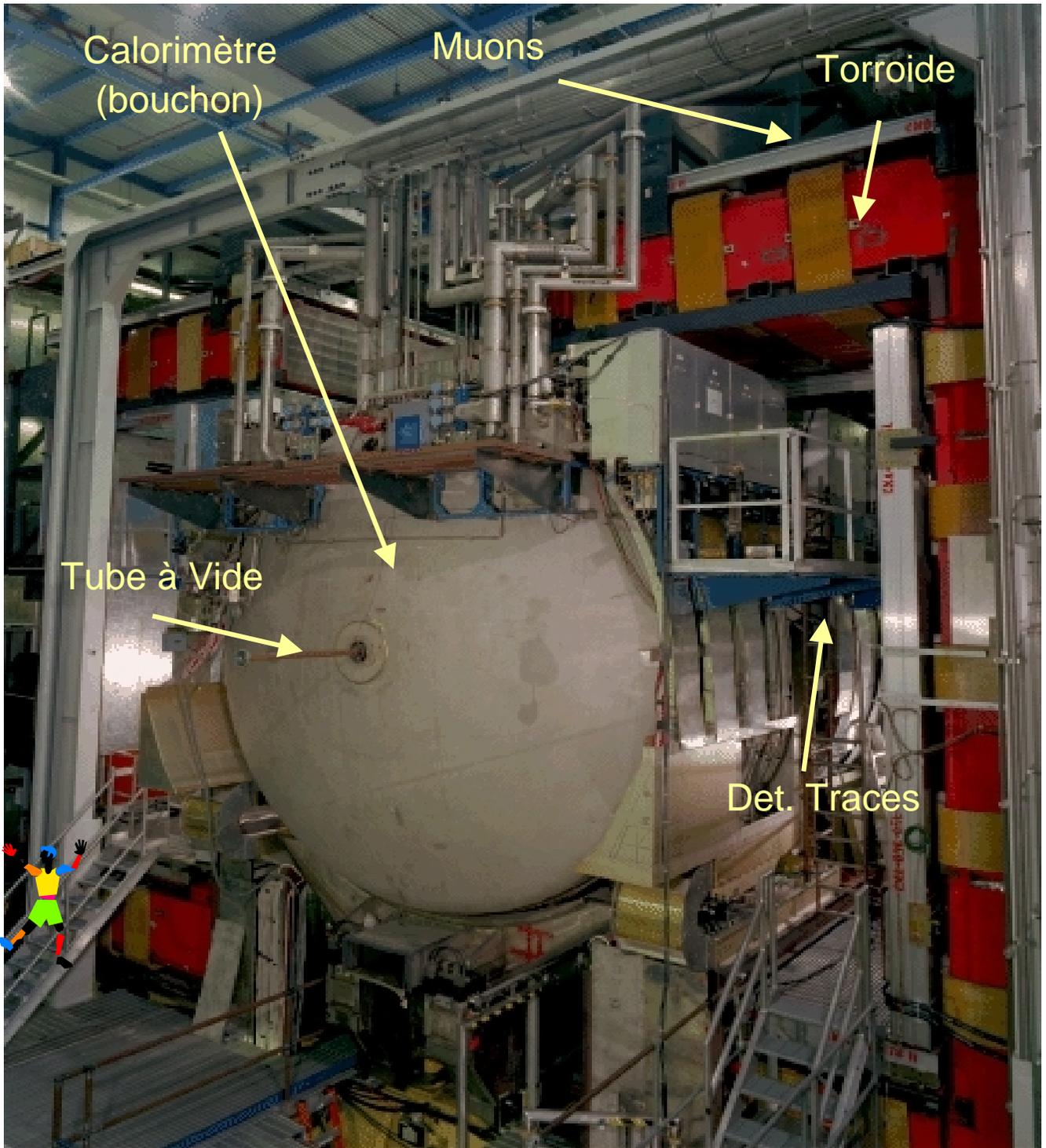
## Recherche de nouvelle physique:

- Production squarks et gluinos:  $\tilde{q}, \tilde{g}$
- Sensibilité à  $\tilde{t}, \tilde{b}$
- Production de paires de gauginos:  $\chi_1^\pm \chi_1^0$  et  $\chi_1^\pm \chi_2^0$

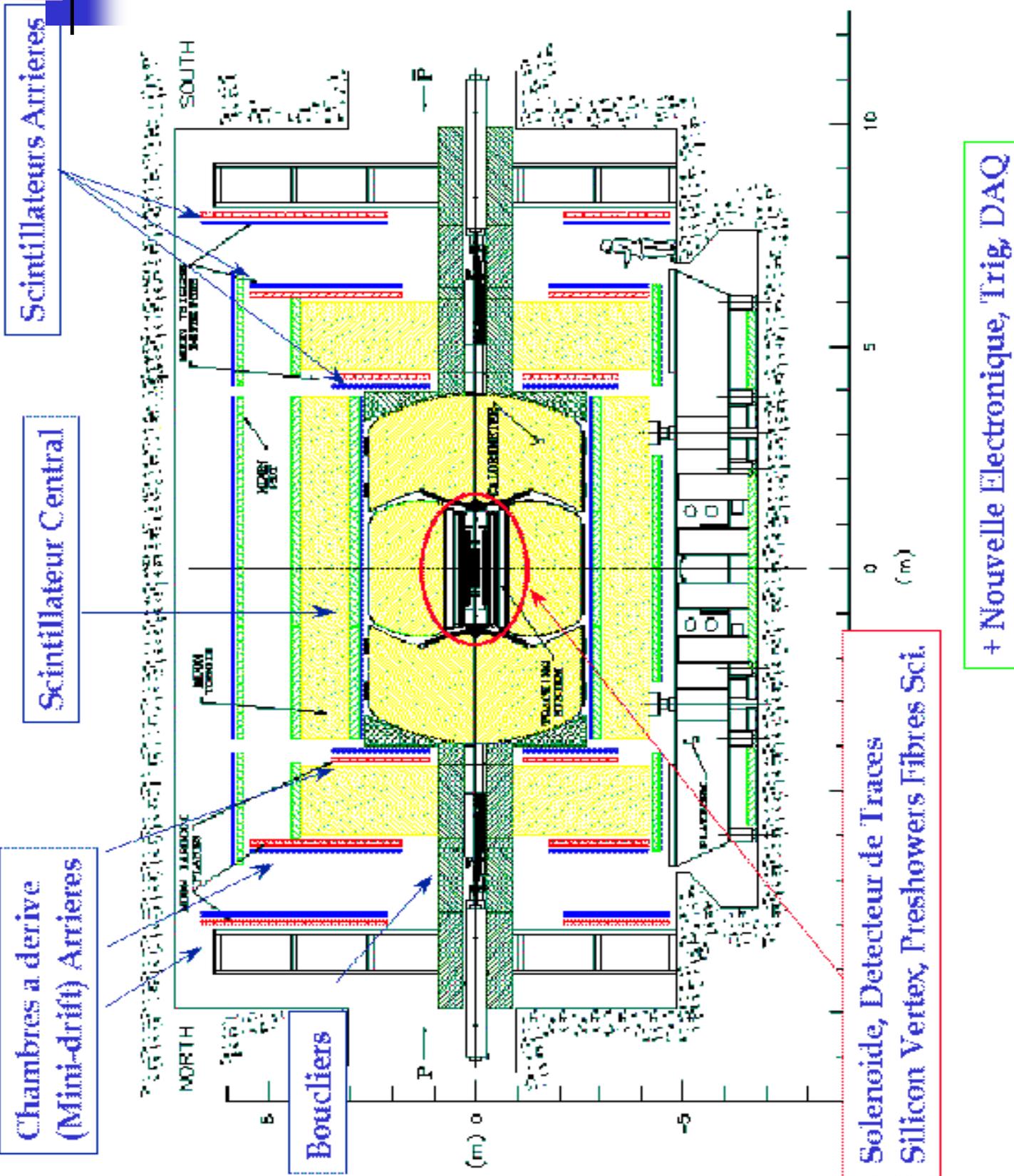
# I. Le détecteur DØ au Run II



# Le détecteur DØ



# L'upgrade du détecteur DØ



# Les détecteurs Centraux

## Silicon Microstrip Tracker (SMT)

6 barrels + 12 disques

## Fiber Tracker (CFT)

8 super-couches de fibres scintillantes

## Solenoid

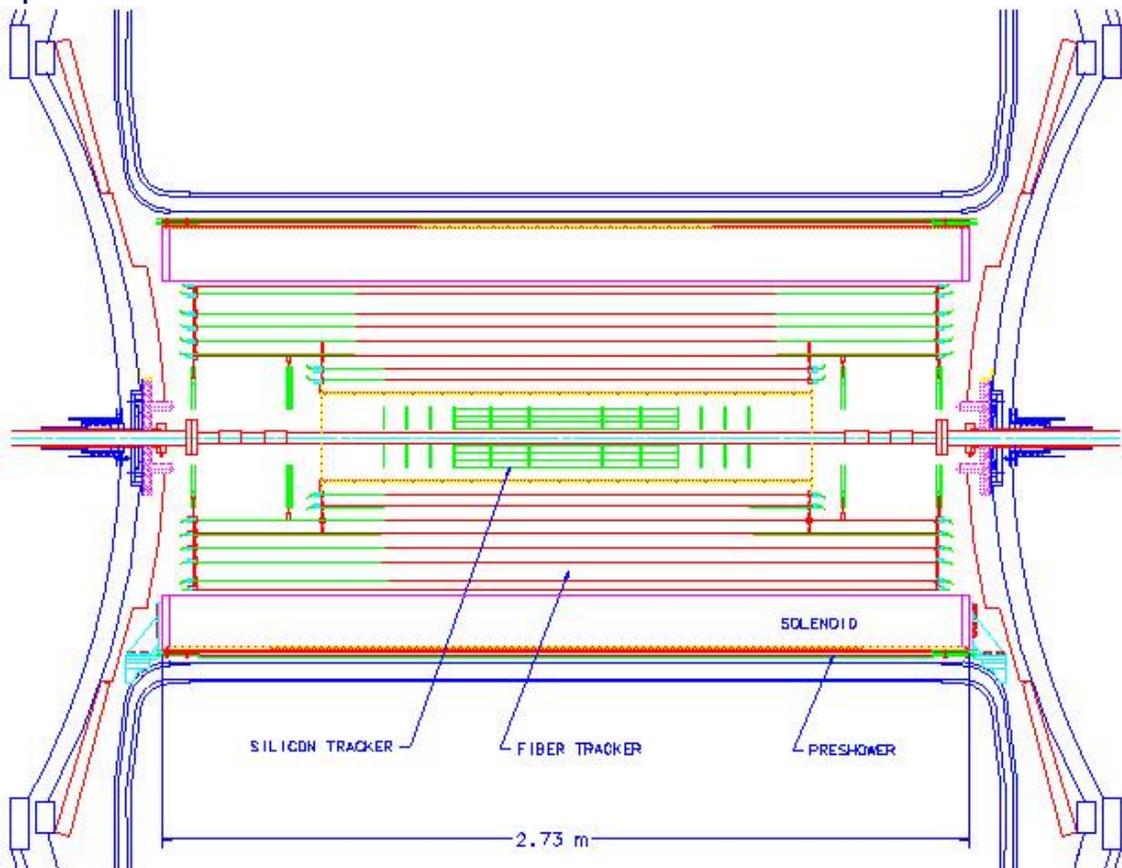
champ de 2T (supra-conducteur)

## Central Preshower (CPS)

3 couches de strips/pistes + fibres scintillantes

## Forward Preshower (FPS)

Strips + fibres scintillantes



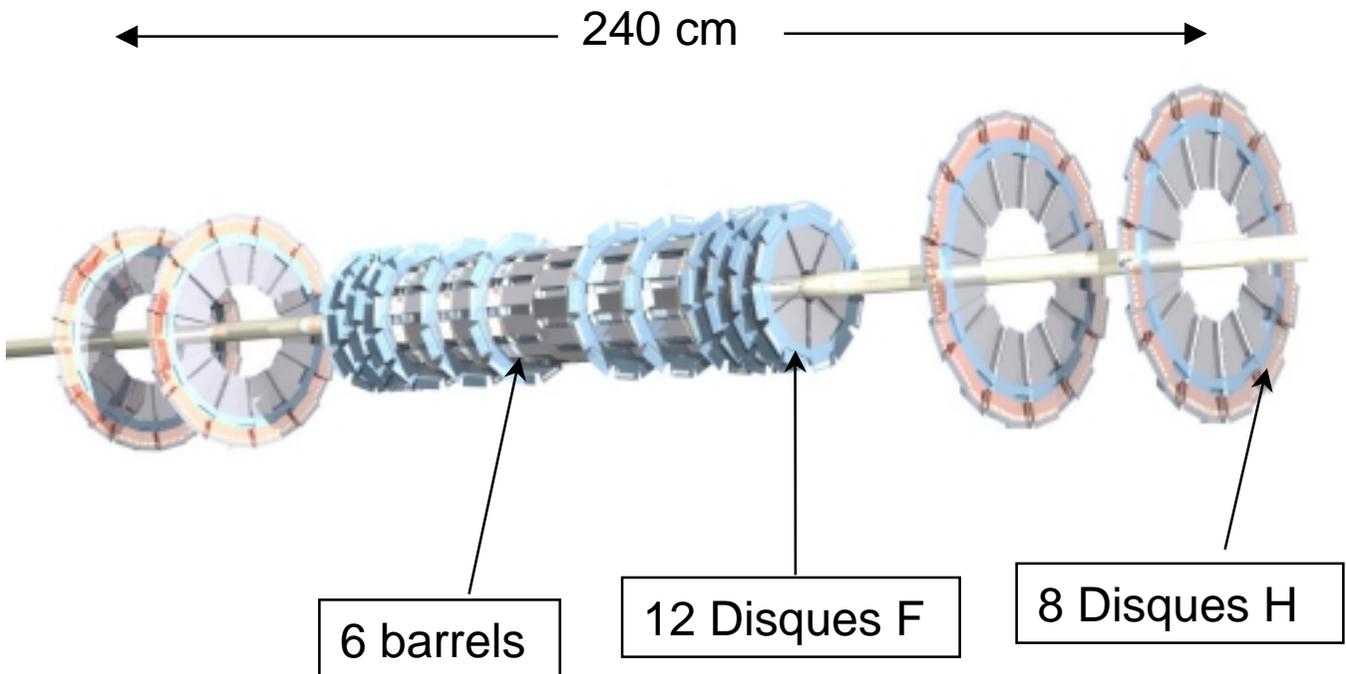
# Détecteur au Silicium

## Motivations:

- mesure des moments des traces proche du tube à vide
- mesure des vertex secondaires pour identification des quarks lourds

## Caractéristiques:

- 790 K canaux
- Couverture :  $|\eta| < 3$
- Supporte radiations  $> 1$  Mrad
- Déclenchement de niveau 2: paramètre d'impact



# Silicon Tracker – détecteurs

## Structure: détecteur à micro-pistes Si

Tonneau: 6 modules, 4 couches

Double Face: couches 1,3 (90° stereo)

couches 2,4 (2° stereo)

Simple Face: couches 1,3 (modules extérieurs)

2. Disques Centraux: 12 ( $2.5 < r < 10$  cm)

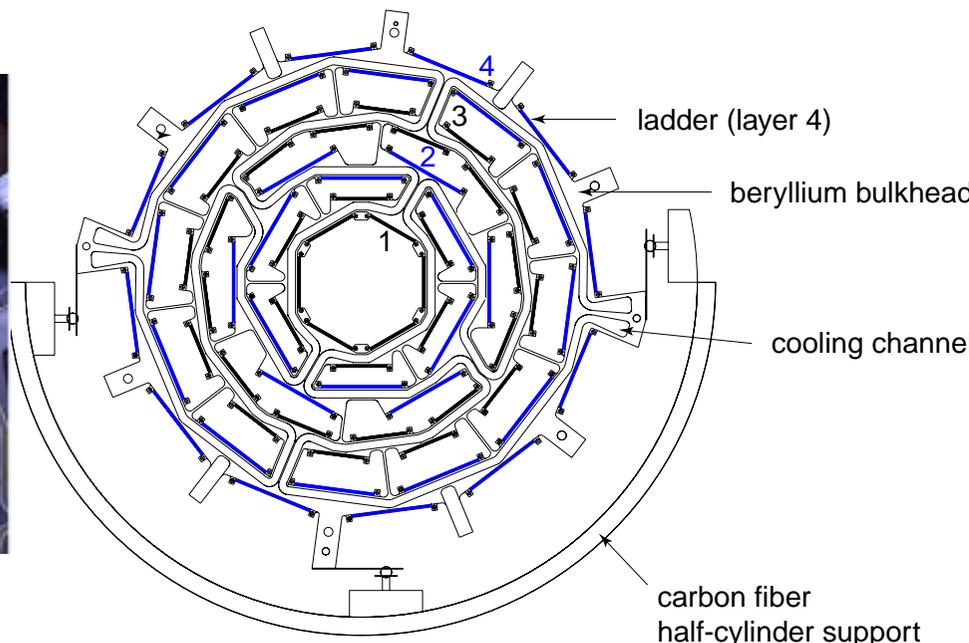
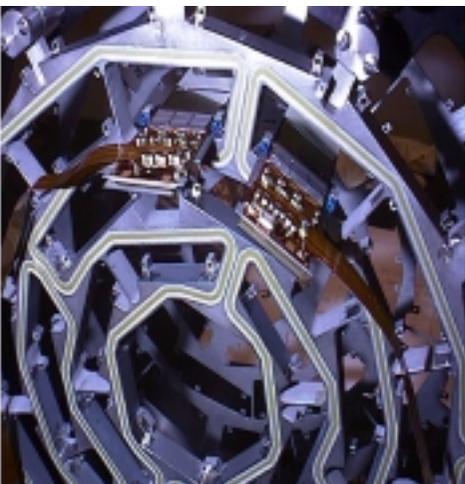
12 wedges double-faces / disque

pitch 50 & 62.5  $\mu\text{m}$ ,  $\pm 15.0^\circ$  stereo

3. Disques Arrières : 4 ( $9.5 < r < 20$  cm,  $z=94, 126$ cm)

384 single-sided detectors for 4 disks,

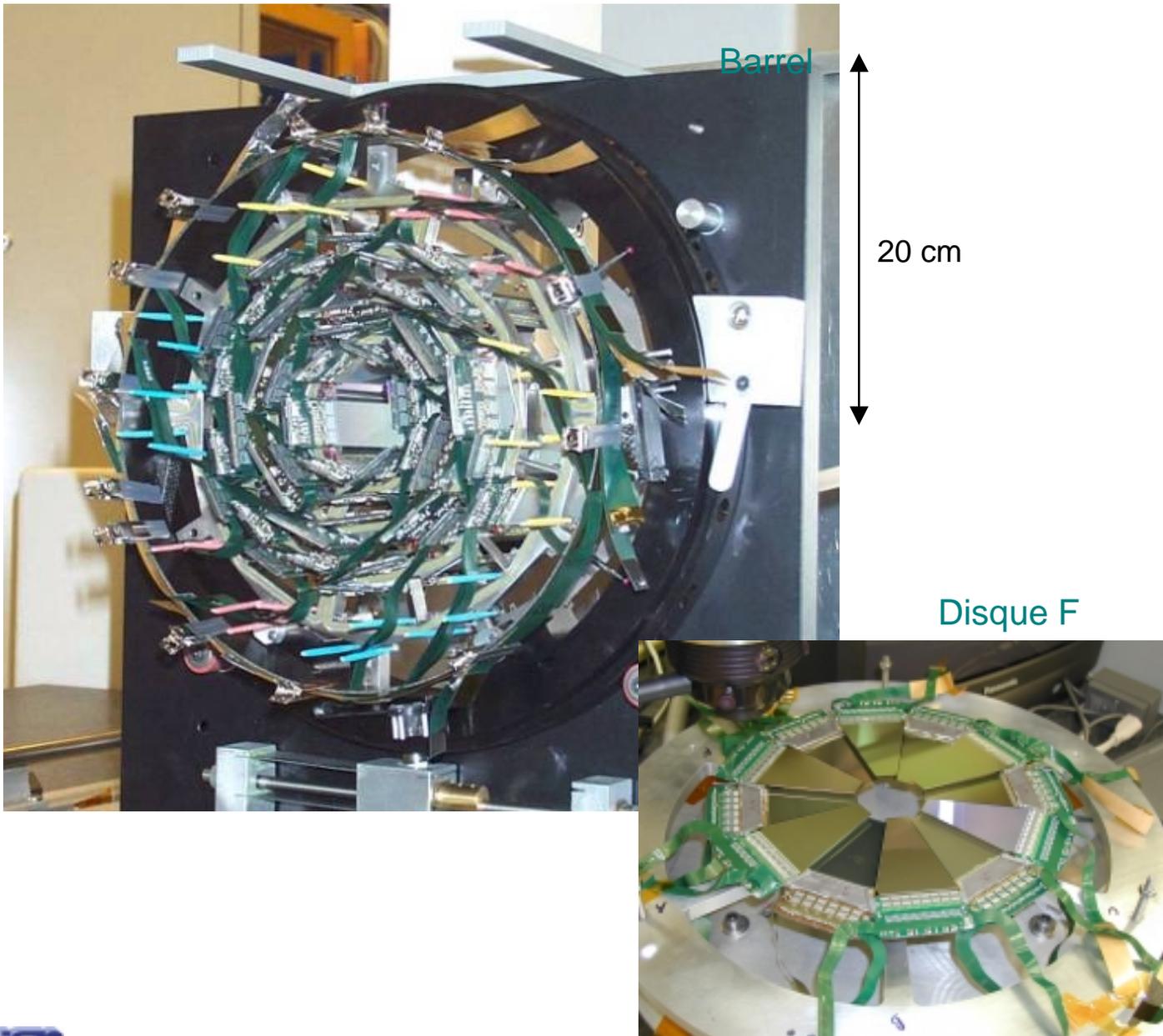
pitch 40  $\mu\text{m}$ ,  $\pm 7.5^\circ$  stereo



# Détecteur de Vertex

## Performances

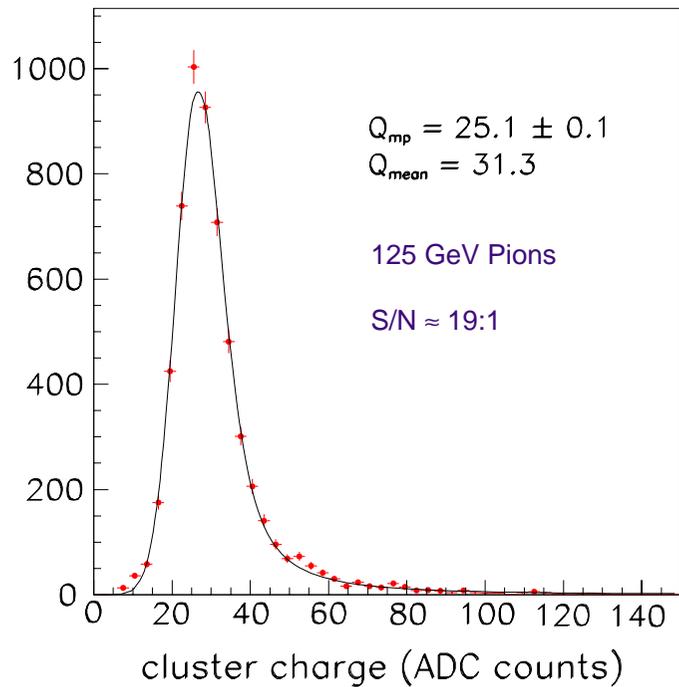
vertex primaire  $\sim 15\text{-}30\ \mu\text{m}$   
paramètre d'impact  $\sim 50\ \mu\text{m}$



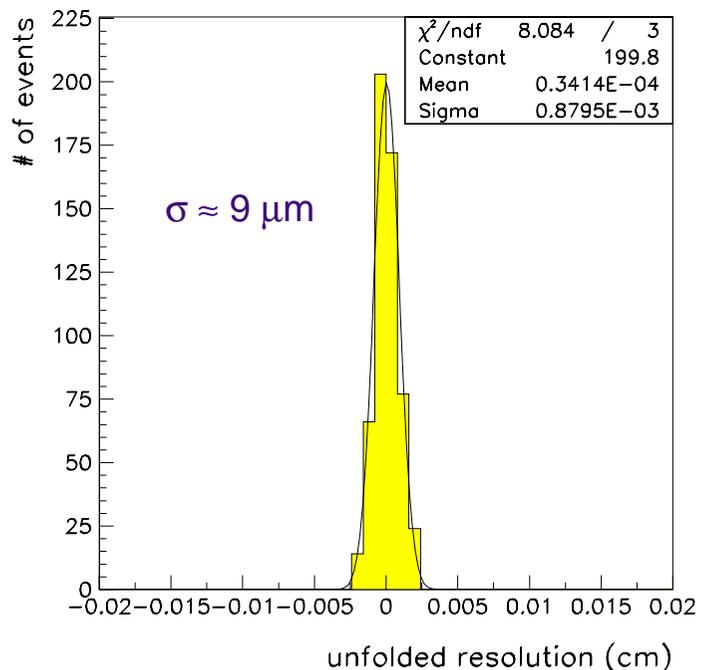
# Faisceau Test du Silicon

## Faisceau test du Silicon détecteur (Juin - Septembre 1997)

Charge déposée  
dans les clusters



Résolution en  
Position



# Détecteur Central à Fibres scintillantes (CFT)

## Caractéristiques:

Fibres de diamètre de  $830 \mu\text{m}$

8 super-couches de rayon  $r = 20$  à  $51 \text{ cm}$

2 doublets par couche: Axiales + Stereo (angle  $\sim 3^\circ$ ) u-z, v-z

Couverture:  $|\eta| < 1.7$

Nombre de canaux  $\sim 77\text{k}$

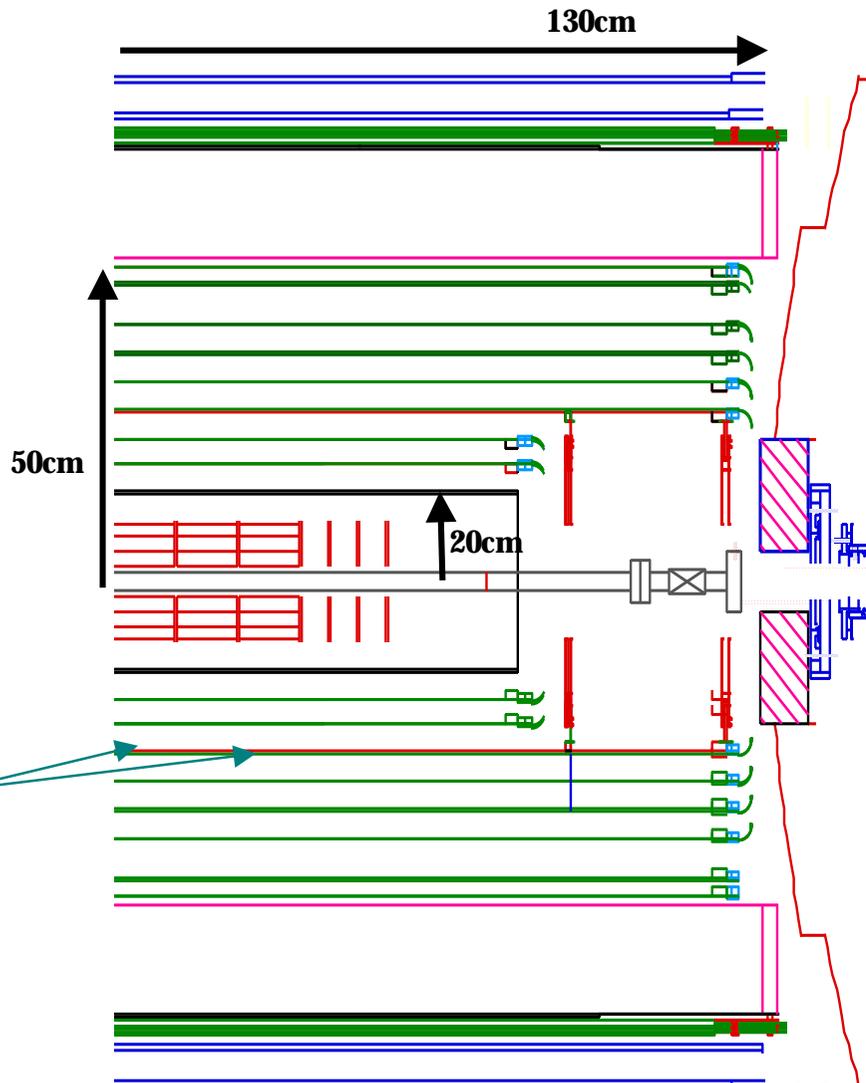
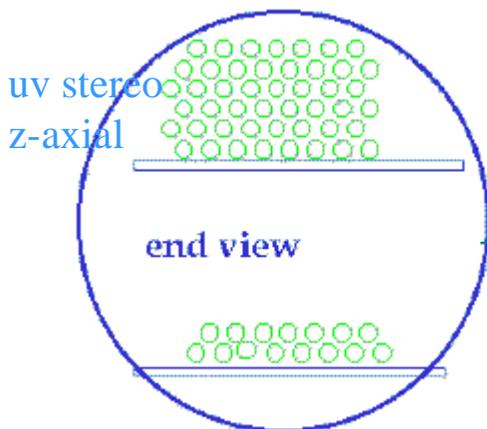
## Performances:

Résolution position

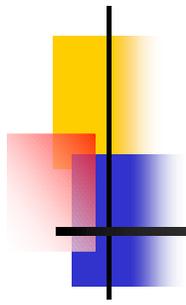
$\sim 100 \mu\text{m}$

Information utilisée

niveau 1/2



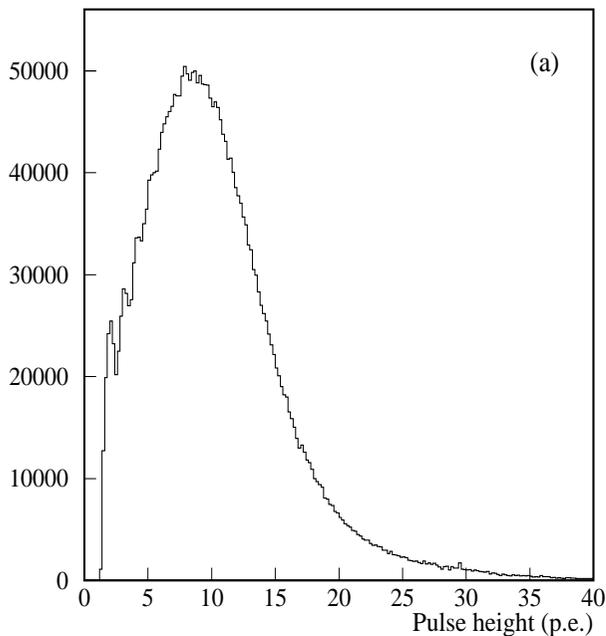
# Performances du CFT



## Test avec des muons (cosmiques)

a) 8.5 p.e. / fibre

> 2.5 p.e. nécessaire pour 100% efficacité

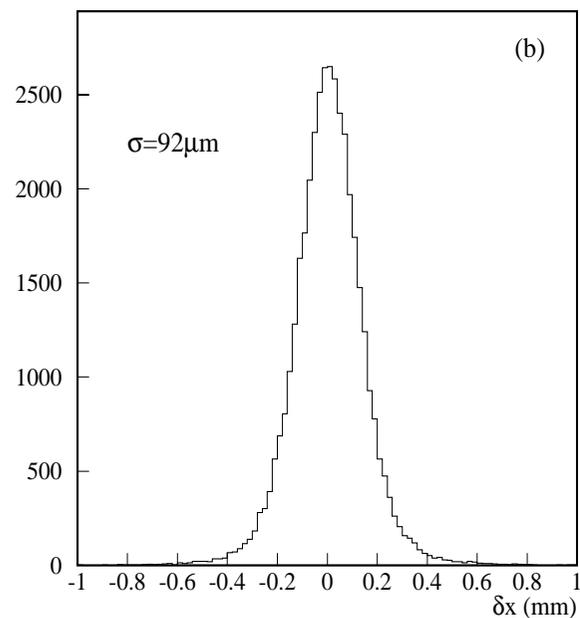


b) Résolution sur la position (Doublet):

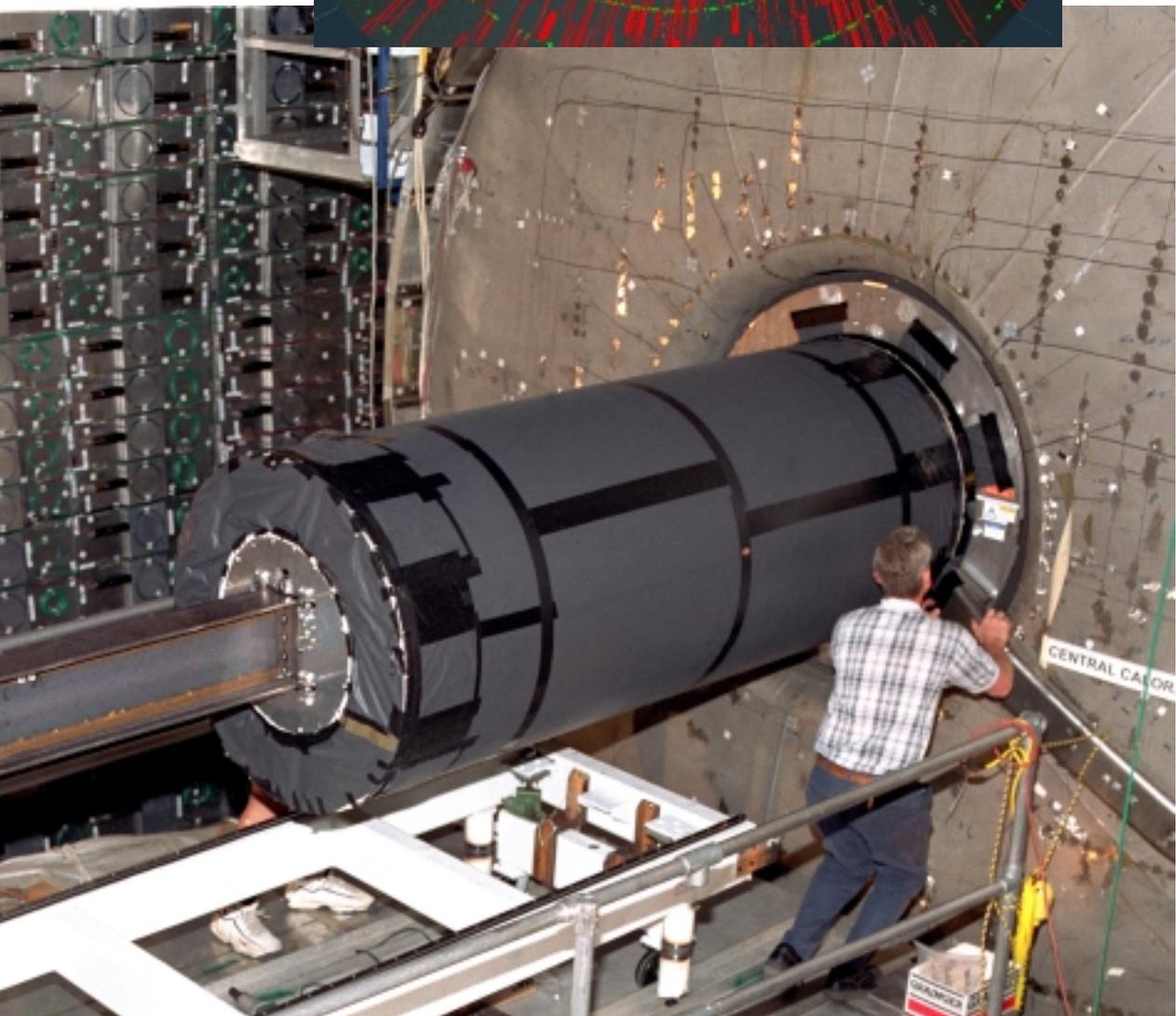
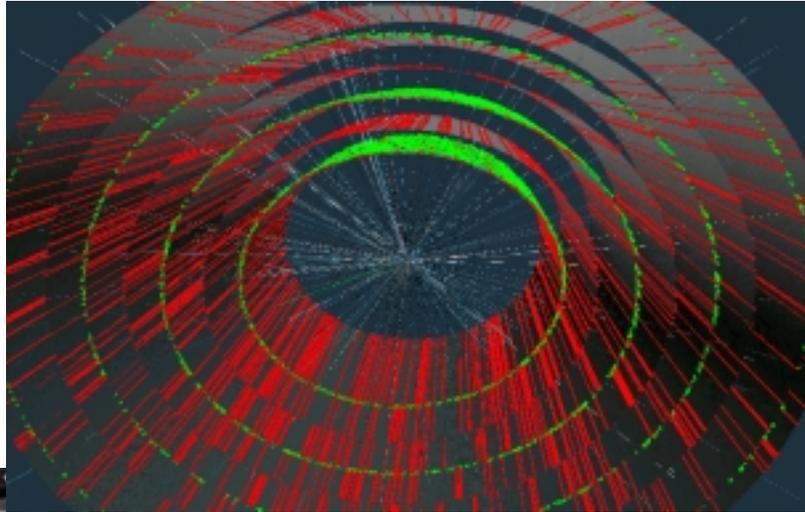
~100  $\mu\text{m}$

c) Efficacité reconstruction (Doublet):

> 99.9%



# Tracker à fibres scintillantes



# Preshower Central (CPS)

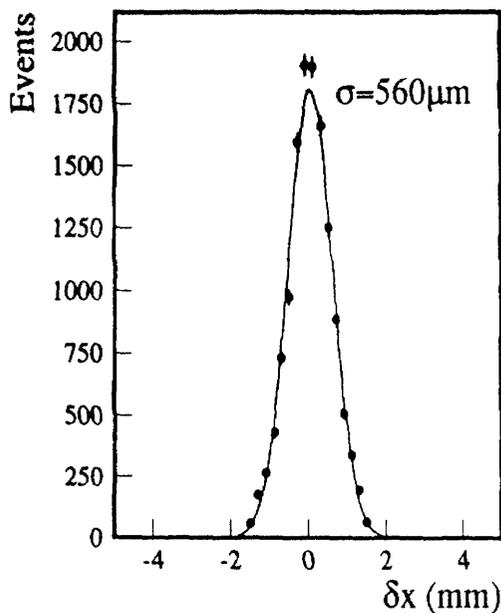
## Caractéristiques:

Pré-radiateur  $2X_0$  (solénoïde + Pb)

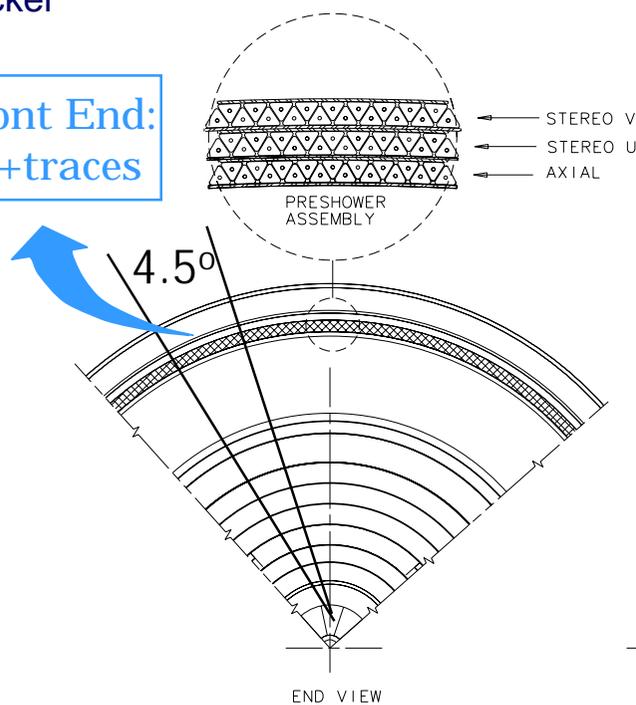
3 couches de pistes triangulaires traversées par fibres scint.:

1 axiale (x) + 2 stereo  $20^\circ$  (u,v) = 1280 x 3 canaux

Lecture / secteur conjointe avec le Tracker



Front End:  
PS+traces



## Performances:

Identification des particules:

Position : résolution  $< 1.4 \text{ mm}$  (e- de 10 GeV) /  $600 \mu\text{m}$  ( $\mu$ -)

ID : étiquetage électron avec Preshower + trace

Déclenchement:

niveau 1,2: réduction des fonds QCD par facteur 3-5

# Performance des détecteurs de traces

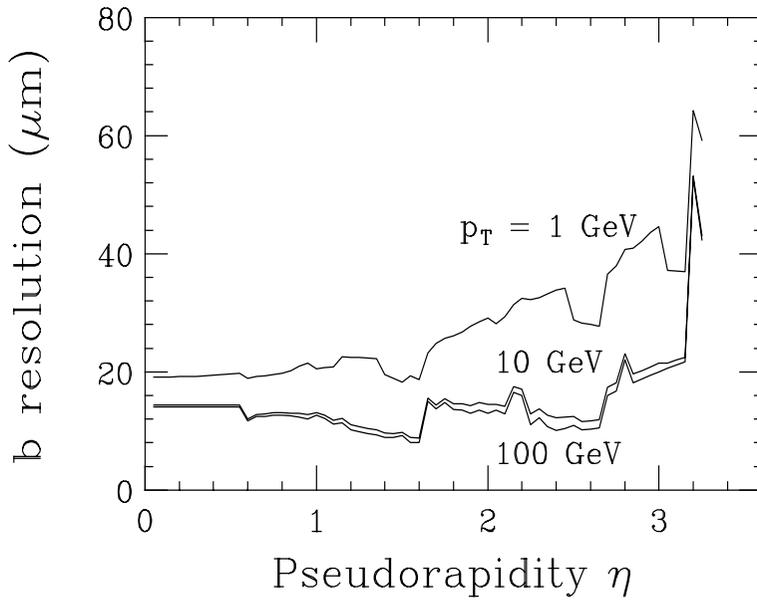
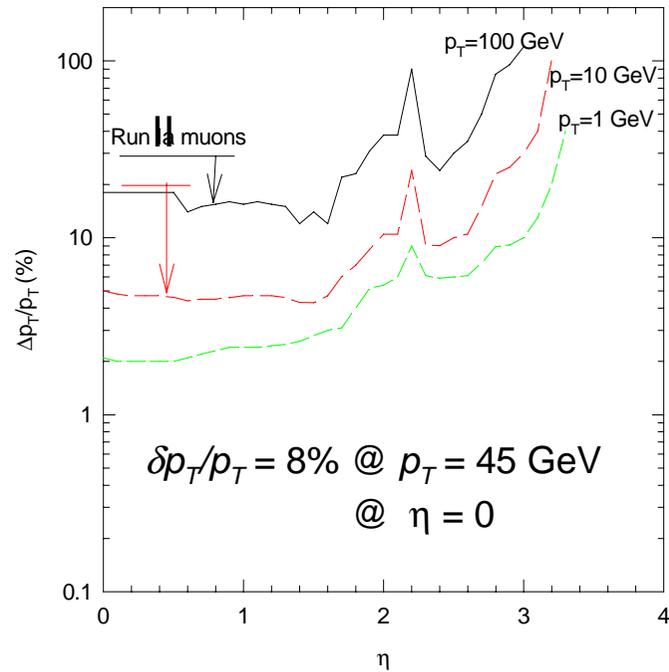
## Résolutions sur $p_T$ et sur paramètre d'impact (SMT + CFT):

Haute efficacité de reconstruction (95%)

Résolutions vs rapidité  $\eta$

moment:  $dp_T/p_T^2 = 0.002$  (Silicon+CFT)

paramètre d'impact  $b$ :  $<80 \mu\text{m}$



## Reconstruction des Vertex:

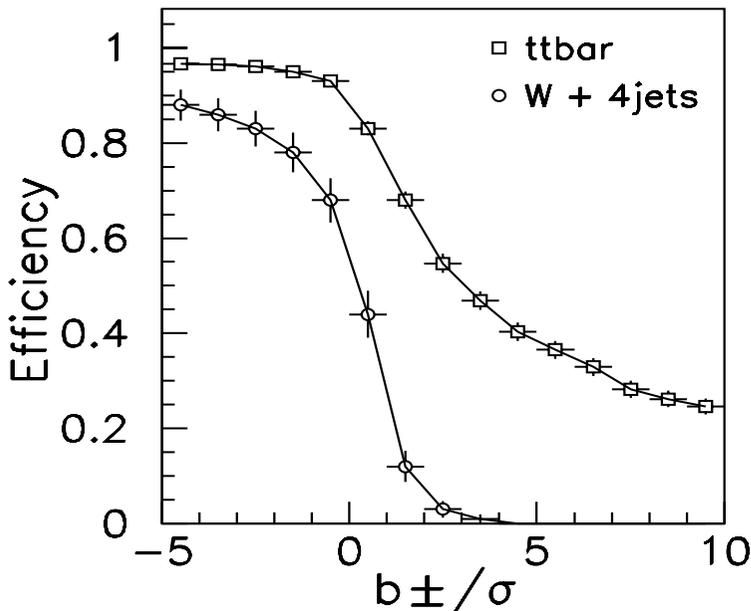
Vertex primaire  $\sim 15\text{-}30 \mu\text{m}$  (r- $\Phi$ ) pour  $tt / bb$

Vertex secondaire:  $\sim 40 \mu\text{m}$  (r- $\Phi$ ) ,  $100 \mu\text{m}$  (r-z)

# Performance des détecteurs de traces

## Efficacité d'étiquetage du b / événement

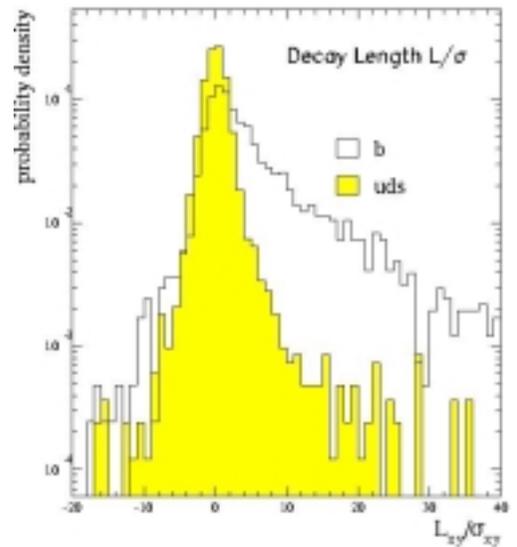
utilisation de nb de traces de haut paramètres d'impact  $b_{\pm}/s$



$b_{\pm}/\sigma > 3$ :

> 50% de  $tt\bar{b}$  events

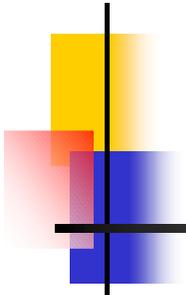
< 2% de  $W + \text{jets}$



## Identification des électron/photons

Réjection E/p (calibration du CAL EM), signe (charges)

Déclenchement electron dès niveau 1



# Le Système Muon Central

---

## 1) Chambres Proportionnelles à dérives (PDT)

Utilisation des PDT's existantes pour  $|\eta| < 1$

Utilisation de gaz (Ar+CH<sub>4</sub>+CF<sub>4</sub>) plus rapide (tps dérive ~450ns)

Remplacement électronique "Front End" (pas de temps mort)

## 2) Scintillateurs

Extension couverture (sous le calorimetre)

Réjection des fonds cosmiques (timing)

Résolution en temps 2.5ns

déclenchement L1 / ID en dehors du torroide

étiquetage en temps pour muons dans PDT's

## 3) Scintillateurs - région centrale

630 compteurs (70 en  $\Phi$  X 9 en z)

Fournit:

déclenchement L1

muon ID avant le torroïd (muons de faible  $p_T$ )

Etiquetage en temps des muons

# Le Système Muon Avant/Arrière

## Détecteur Arrière ( $1 < |\eta| < 2$ ):

Remplacement des chambres proportionnelles (PDT's)

3 couches de MDT's de fine granularité:  $1 \times 1 \text{ cm}^2$

Utilisation de Gaz ( $\text{CF}_4 + \text{CH}_4$ )

temps de dérive a 40-60 ns

## Scintillateurs Arrières ( $1 < |\eta| < 2$ ):

3 couches de Scintillateurs pixel ( $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.1 \times 4.5^\circ$ ) / octant

Etiquetage en temps des muons , combinaison vs traces du CFT

Déclenchement niveau 1



“Mini-Drift Tube” (MDT)



Scintillateurs “pixel”

# Blindage des chambres à Muons

## Blindages autours du tube à vide

Composé de Fer (39cm), polyethylene (15cm), Plomb (15 cm)

Rejette fonds

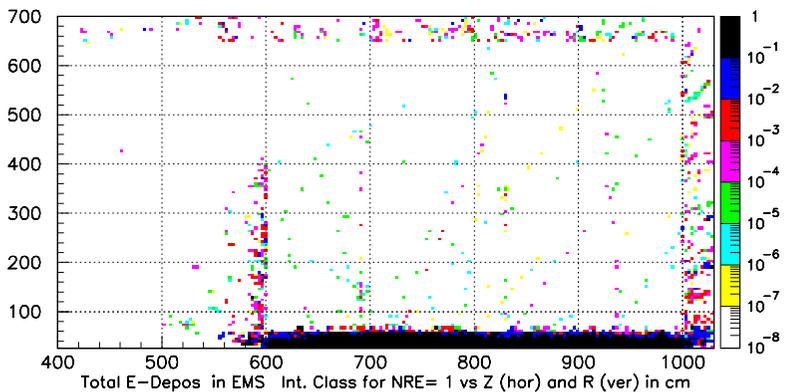
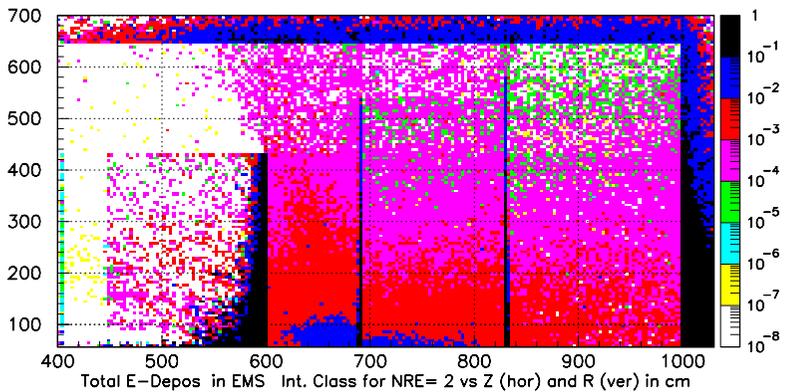
$p$  et  $pbar$  interagissant avec calo+ tube à vide+quadrupôles

énergie EM  
déposée  
(GeV/cm<sup>3</sup>/sec):

Sans  
Shielding

Avec  
Shielding

$r$  (cm)



In units of 10<sup>8</sup> GeV/cm<sup>3</sup> per sec, where the color indicates the power n

$z$  (cm)

# Le Calorimètre de DO

## Calorimètre

Absorbeur : Uranium / Echantillonneur: Argon Liquide

Cryostat Central :  $|\eta| < 1.0$

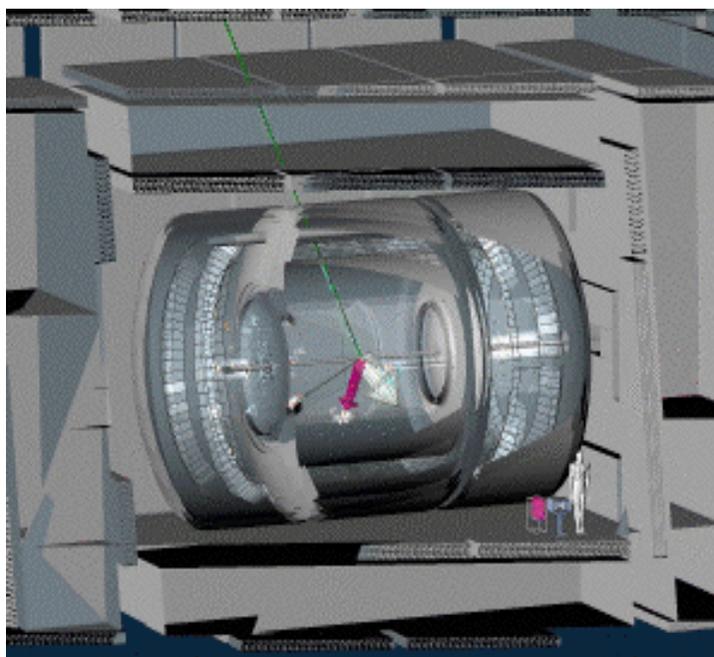
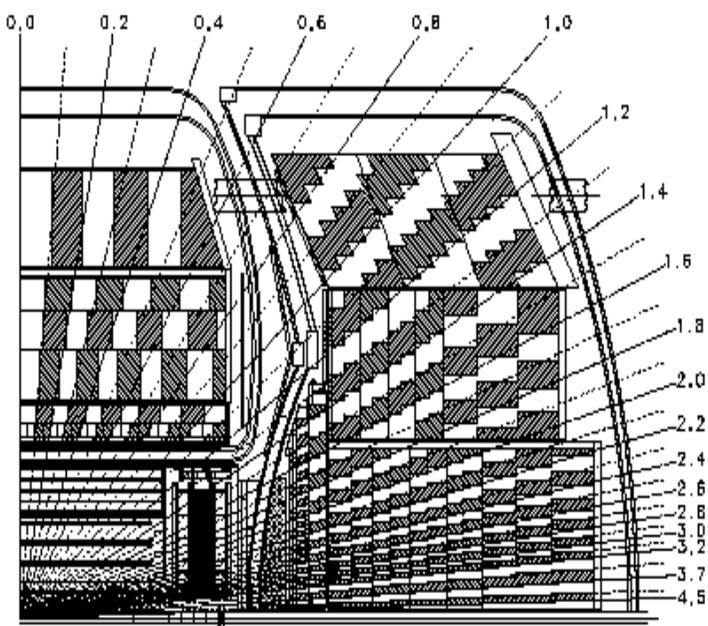
Cryostat Avant/Arrière:  $1.2 < |\eta| < 4.0$

Fine segmentation:

5000 Tours:  $\Delta\phi \times \Delta\eta = 0.1 \times 0.1$

Fine granularité (0.05 x 0.05) à l'extension maximale de gerbe EM

Tours de déclenchement:  $\Delta\phi \times \Delta\eta = 0.2 \times 0.2$



Performances:

$\sigma(\text{EM}) \sim 16\% / \sqrt{E}$  et  $\sigma(\text{HAD}) \sim 50\% / \sqrt{E}$

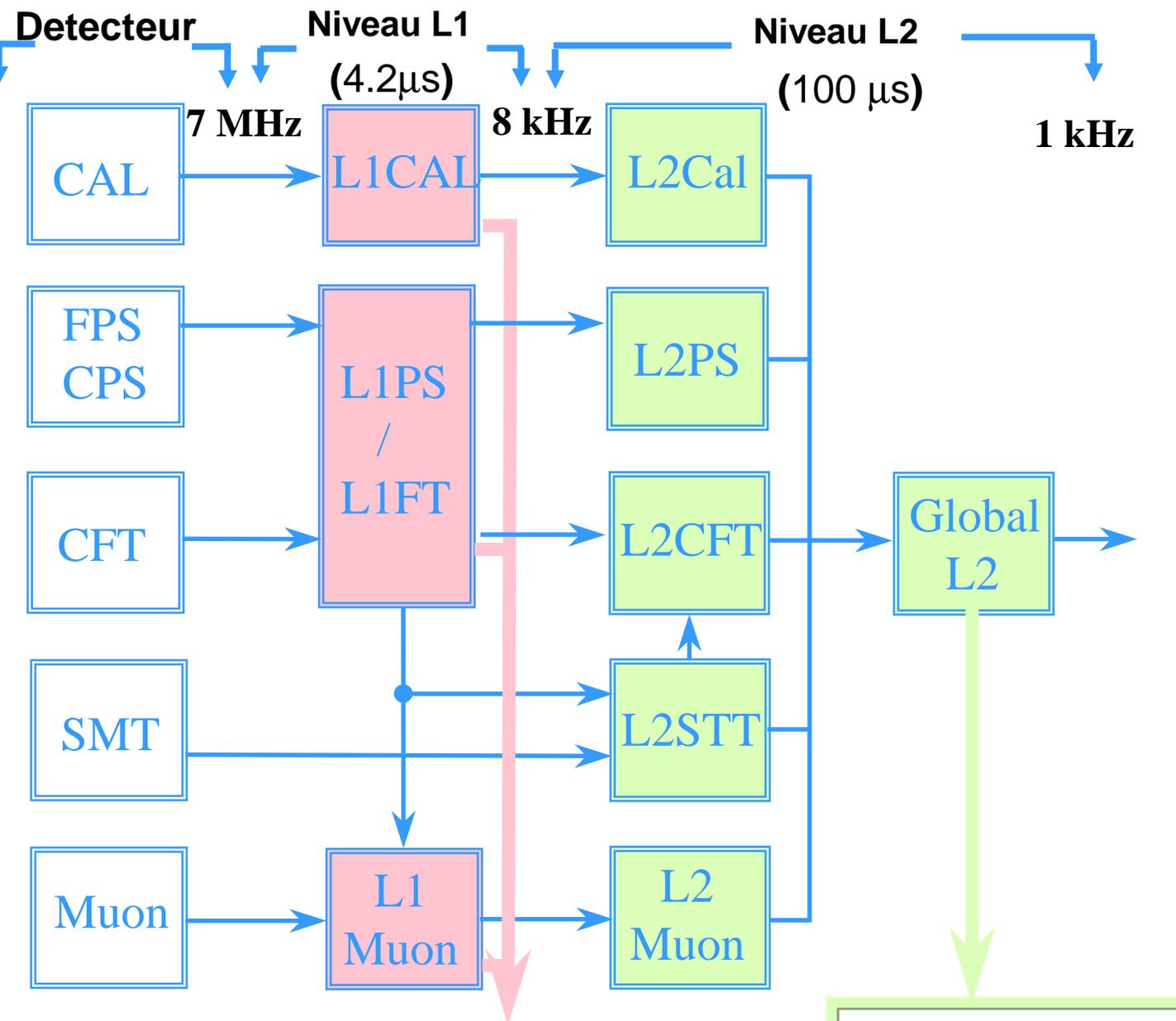
Résolution position  $\sim 0.8\text{-}1.2$  mm pour e- de 100 GeV

## Electronique du Run II

adaptation aux 396/132 ns entre paquets

pipeline

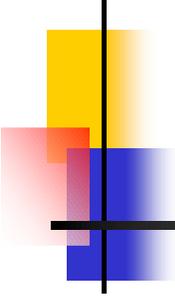
# Architecture & Contraintes



**L1FW: tours CAL, traces, Muon**

- 128 combinaisons (ORs) possibles
- Calorimetre vs Preshower + traces
- Calorimetre vs Traces

**L2FW: Combine objets (e, μ, j)**



# Résumé: l'upgrade de DØ en vue du Higgs

---

## Détecteurs de Traces

Silicon:

paramètre d'impact, vertex

Tracker à fibres scintillantes

Moments, permet le E/p avec le calorimètre

## Détecteurs de pied de gerbe:

Capacité d'identification d'électron/photon accrue  
région centrale et bouchon

Limite la dégradation de résolution de  $E_{\text{mesurée}}^{\text{calo}}$

Déclenchement au niveau 1/2:

réjection x3-5 p/r calorimètre seul

## Calorimètre

performances comparable à  $5 \times 10^{32}$  avec  $2 \times 10^{31}$  (en fait 15% moins bon)

## Chambres à muons

Seuils  $p_T$  plus petits (pas de "pre-scale"):

single muon  $p_T > 7 \text{ GeV}/c$ ,

di-muon  $p_T > 2 \text{ GeV}/c$

Fonds réduits et amélioration du déclenchement

## Déclenchement

Largeur Bande passante accrue: 7 MHz en entrée

L1 → 8 kHz

L2 → 1 kHz

L3 → 50 Hz sur bande

# La Recherche du Higgs au TeVatron

## Phénoménologie du Higgs

Higgs dans le modèle standard et SUSY  
Modes de Production au TeVatron  
Outils nécessaires

## La recherche directe du Higgs

Détection du higgs léger  
Détection du Higgs lourd  
Le Higgs supersymétrique

## La recherche indirecte du Higgs

Inputs à la masse du Higgs  
Mesure de la masse du Top  
Mesure de la masse du W

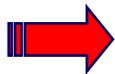
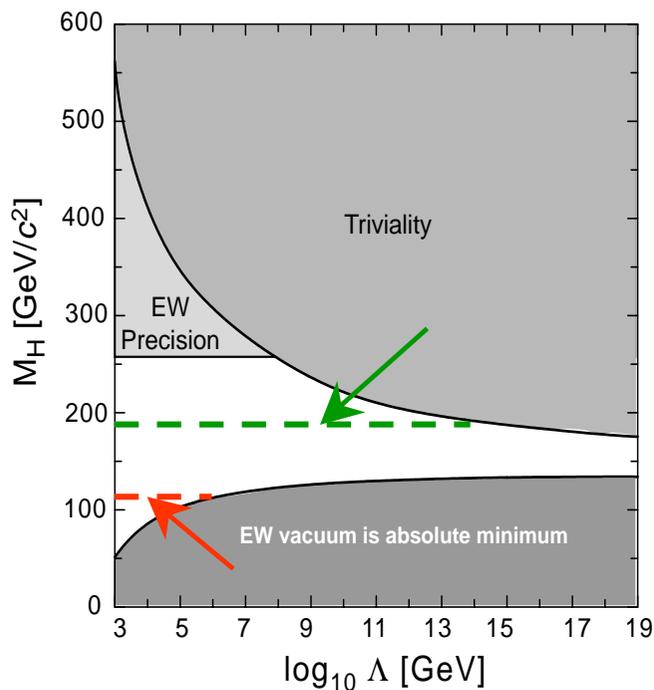
# Le Higgs dans le Modèle Standard

## La place du Higgs dans le MS

- 1 doublet de Higgs
  - 1 champ Higgs (scalaire)  $\Phi$  physique
- Echelle de brisure de symétrie:
  - $v = |\Phi| = 2 m_W/g = 246 \text{ GeV}$
- Masse du Higgs:
  - paramètre libre  $m_H = \lambda v^2$
- Couplages aux particules  $\rightarrow$  masse:
  - $m_f = g_f \langle \Phi \rangle$  (fermions)
  - $m_W = g/\sqrt{2} \langle \Phi \rangle$  (bosons)

## Contraintes théoriques

- Limite supérieure sur  $m_H$ 
  - “Trivialité”:
  - auto-couplage du Higgs
  - “explose” à l’énergie  $\Lambda$
  - $m_H^2 = 2 \lambda(m_H) v^2$
- Limite inférieure sur  $m_H$ 
  - “Stabilité du vide”
  - le potentiel de Higgs devient instable pour des valeurs  $O(\Lambda)$



**Favorise un Higgs neutre léger tel que:  $m_H \leq 180 \text{ GeV}/c^2$**

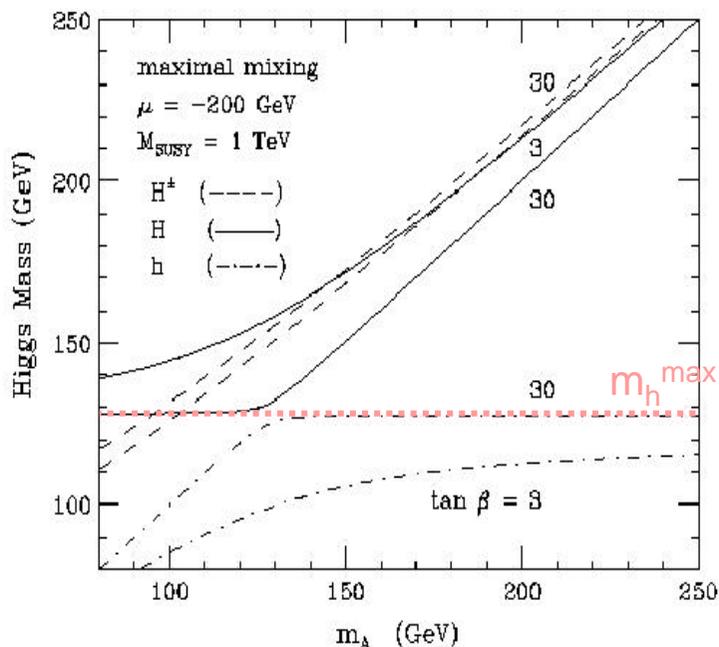
# Le Higgs dans SUSY Minimal (MSSM)

## Le secteur de Higgs dans le MSSM

- Symmétrie Boson  $\leftrightarrow$  Fermion
  - 1 degré de liberté du MS  $\leftrightarrow$  1 degré de liberté SUSY
- 2 doublets de Higgs:
  - vérifie  $\rho(=M_W/M_Z \cos\theta_W) \sim 1$
  - assure l'absence de courant neutre changeant la saveur
  - assure l'unitarité (relation de somme)
    - $\rightarrow$  taux de production de Higgs SUSY < Higgs MS

## Les particules de Higgs

- 5 états physiques:
  - 2 Higgs neutres (CP=+1): h, H
  - 1 Higgs neutre (CP=-1): A
  - 2 Higgs chargés:  $H^+, H^-$
- 5 paramètres libres:
  - $\tan\beta = v_u/v_d$
  - $m_A =$  Masse du Higgs A
  - +  $\mu, M_{\text{SUSY}}$ , et mixing (ordres supérieurs)



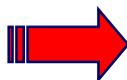
## Relations de masses

1er Ordre de la théorie:

$$m_h \leq m_Z \leq m_H$$

$$m_A \leq m_H$$

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



Ordres supérieurs:

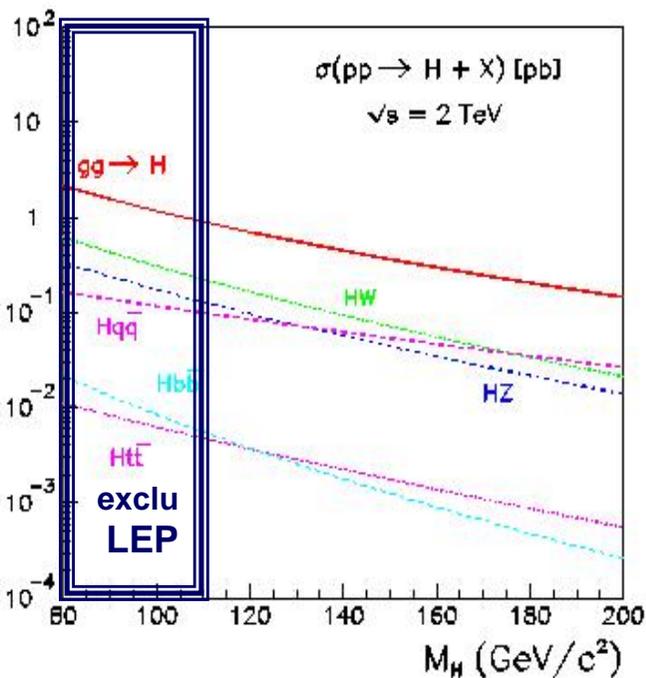
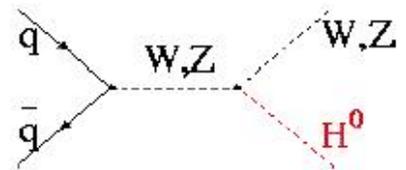
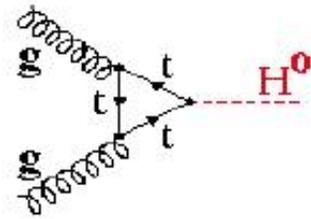
$$m_h \leq 130 \text{ GeV} \leq m_H$$

$$m_A \leq m_H$$

# Phénoménologie du Higgs standard au TeVatron

## Production du Higgs (SM)

- Fusion de gluon:  $gg \rightarrow H$ 
  - $\sigma \sim 1 \text{ pb} = 1000 \text{ events / fb}^{-1}$
  - la désintégration dominante  $H \rightarrow bb$  est noyée dans fonds QCD  $pp \rightarrow bb$
- Production associée  $pp \rightarrow WH, ZH$ 
  - $\sim 0.2 \text{ pb} = 200 \text{ events / fb}^{-1}$
  - les désintégrations leptoniques de W/Z facilitent la sélection

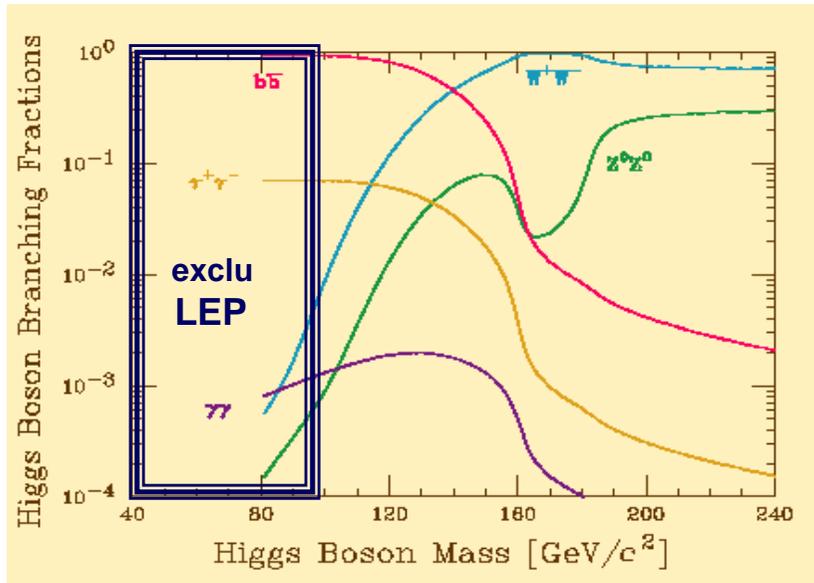


	Processus	$\sigma(\text{pb}^{-1})$
SIGNAL $m_H=120$	$gg \rightarrow H$	0.7
	$pp \rightarrow WH$	0.16
	$pp \rightarrow ZH$	0.10
FONDS	$pp \rightarrow WZ$	3.2
	$pp \rightarrow Wbb$	11.0
	$pp \rightarrow ttbar$	7.5
	$pp \rightarrow tb+ tq+ tbq$	3.4
	QCD $pp \rightarrow qq$	$O(10^6)$

# Phénoménologie du Higgs standard au TeVatron

## Etats finaux:

- $BR(H_{SM} \rightarrow ff, WW)$



- Stratégie de détection:

$m_H < 130-140 \text{ GeV}$	
Signal	Fonds
$WH \rightarrow l\nu bb$	$Wbb, WZ, tq$
$ZH \rightarrow \nu\nu bb$	$QCD bb, Zbb, ZZ, tt$
$ZH \rightarrow llbb$	$Zbb, ZZ, ttbar$

$m_H > 130-140 \text{ GeV}$	
Signal	Fonds
$gg \rightarrow H \rightarrow W^*W^*$	$Drell-Yann, WW,$
$WH \rightarrow WW^*W^*$	$WZ, ZZ, tt, tW$

- Eléments clef:



étiquetage du b  
résolution sur  $M(b,b)$   
résolution sur  $mET$   
connaissance des fonds



déclenchement leptons  
résolution sur  $mET$   
connaissance des fonds

# Phénoménologie du Higgs SUSY au TeVatron

## Production du Higgs (SUSY)

– Production associée:

- $\sigma(qq \rightarrow Vh) = \sin^2(\beta - \alpha) \sigma(qq \rightarrow VH_{SM})$
  - $\sigma(qq \rightarrow VH) = \cos^2(\beta - \alpha) \sigma(qq \rightarrow VH_{SM})$
- ou  $\tan\beta = v_2/v_1$ ,  $\alpha$  = angle de mélange de h et H

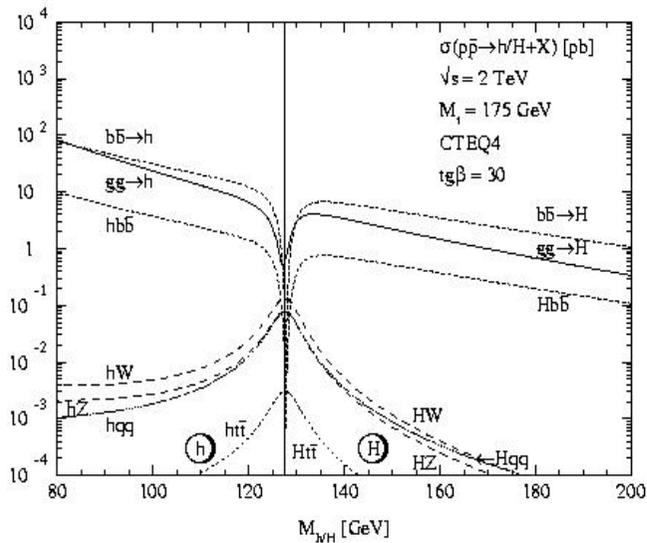
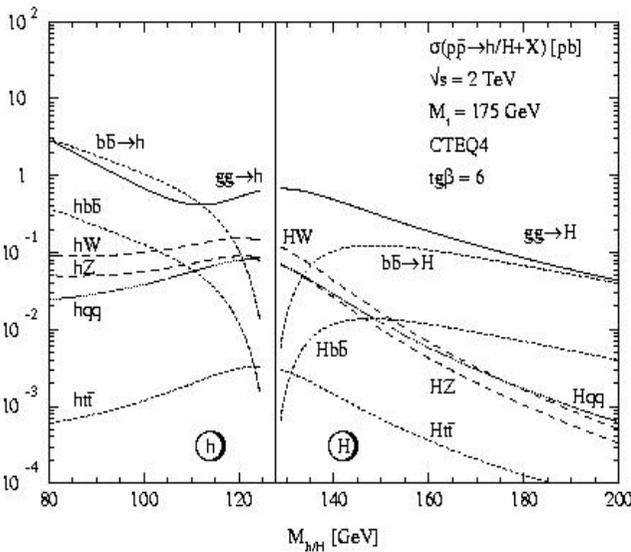
– Fusion de gluons

$\tan\beta \sim 1-5$ :

$\sigma(gg \rightarrow h/H)$  idem dans MS  
 $\sigma(gg \rightarrow h/H) \sim \sigma(gg \rightarrow H_{SM})$

$\tan\beta \gg 1$ :

$\sigma(gg \rightarrow h/H)$  accrue  
 $hbb / Hbb / Abb \propto \tan^2\beta$



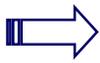
– Higgs chargés:

- production à partir du quark Top:  
 $pp \rightarrow t\text{-tbar} \rightarrow H^+bH^-b$

# Phénoménologie du Higgs SUSY au TeVatron

## Le secteur des Higgs neutres

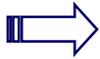
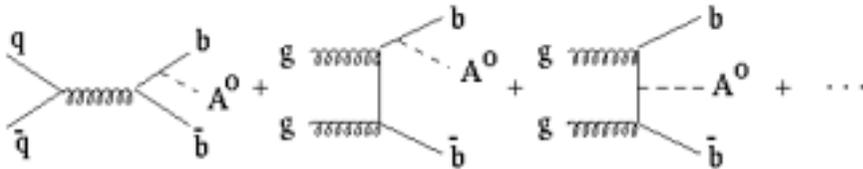
- Etats finaux  $Vh/VH$ :



- Applique les recherches VH standard dans le canal  $H \rightarrow bb$
- Interprete dans  $(m_A, \tan\beta)$

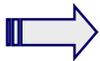
- Etats finaux  $bbh/Hbb/Abb$ :

- Couplages  $hbb / Hbb / Abb \propto \tan^2\beta$   
→ accroissement de  $\sigma(hbb)$  à haut  $\tan\beta$
- Recherche de  $pp \rightarrow bb\phi \rightarrow bbbb$

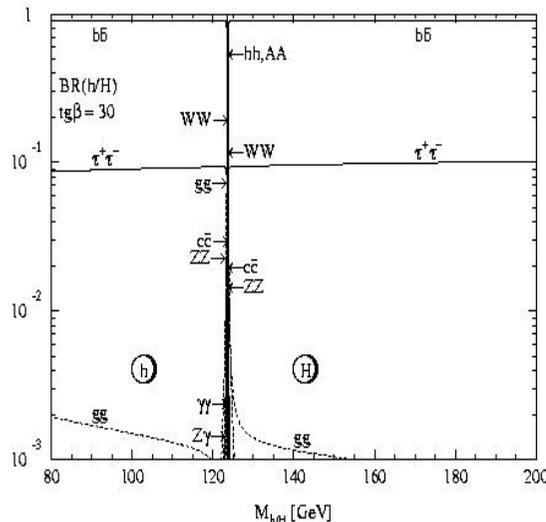
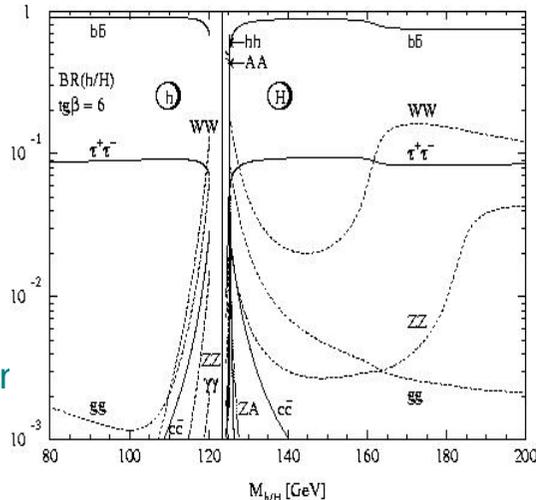


- Recherche états finaux  $bbbb$
- Interprete dans  $(m_A, \tan\beta)$

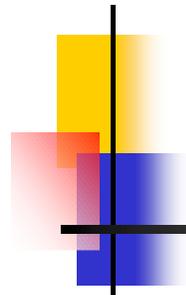
- Eléments clef :



- étiquetage du  $b$
- résolution sur  $M(b,b)$
- connaissance des fonds QCD  $bbbb, bbjj, Wbb, Zbb$

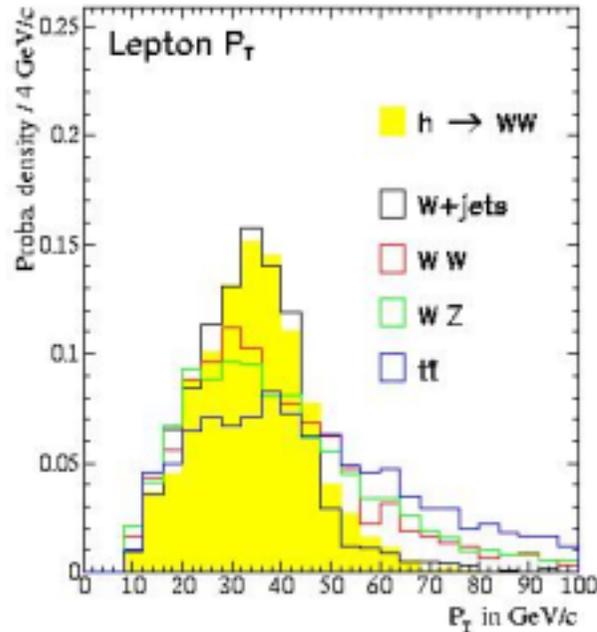


# Le déclenchement leptonique pour la recherche du Higgs



## Algorithmes de déclenchement

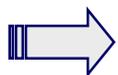
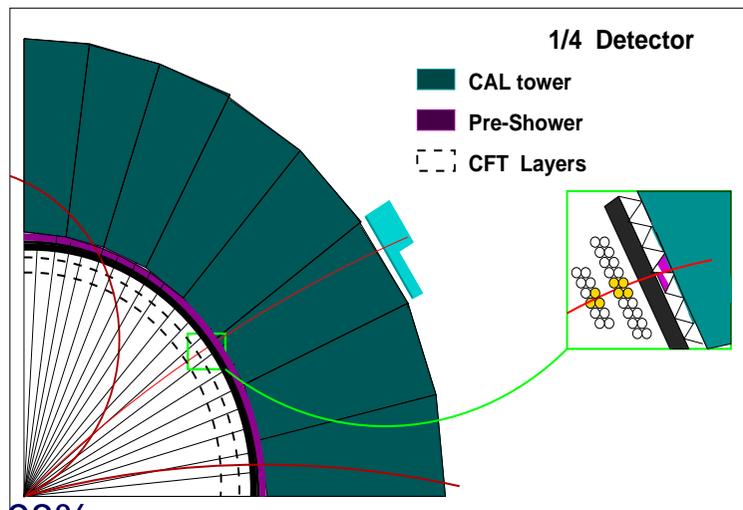
- Leptons mous:
  - sélection de  $b$   
 $b \rightarrow l\nu + X$  &  $b \rightarrow J/\psi(\rightarrow ll) + X \dots$
- Leptons de haut  $p_T$ 
  - canaux  $WH, H \rightarrow W^*W^*$   
 $W \rightarrow l\nu, Z \rightarrow ll$
- Energie manquante  $E_T$ 
  - canaux  $WH, ZH, H \rightarrow W^*W^*$   
 $W \rightarrow l\nu, Z \rightarrow \nu\nu$



## Performances

- Nouveaux déclenchements leptoniques:
  - redéfinition des Niveaux 1 et 2
  - Utilisant les corrélations entre détecteurs
  - Utilisant les topologies :  
( $ee$ )  $p_T(e) > 2.5 \text{ GeV}/c$   
( $\mu\mu$ )  $p_T(\mu) > 1.5 \text{ GeV}/c$   
( $\mu$ )  $p_T(\mu) > 4.0 \text{ GeV}/c$

- Déclenchement sur  $mET$ :
  - résolution de 7-10 GeV

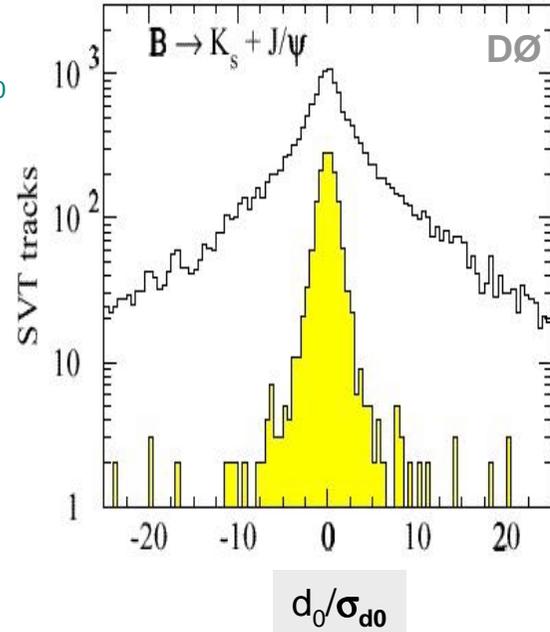


- Lepton  $p_T(l) > 10 \text{ GeV}$   $\epsilon \sim 98\%$
- Seuils abaissés / nouveau design

# Déclenchement de jets de b

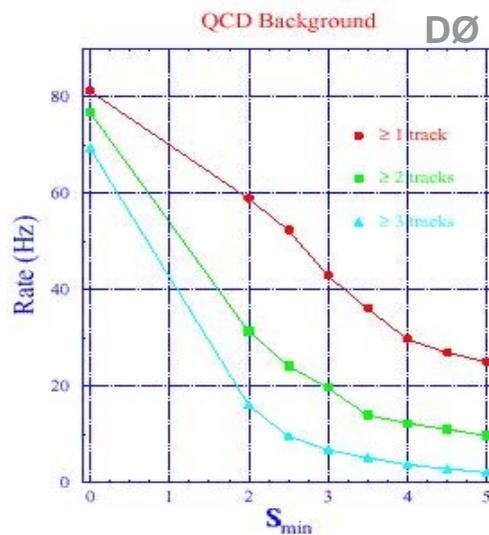
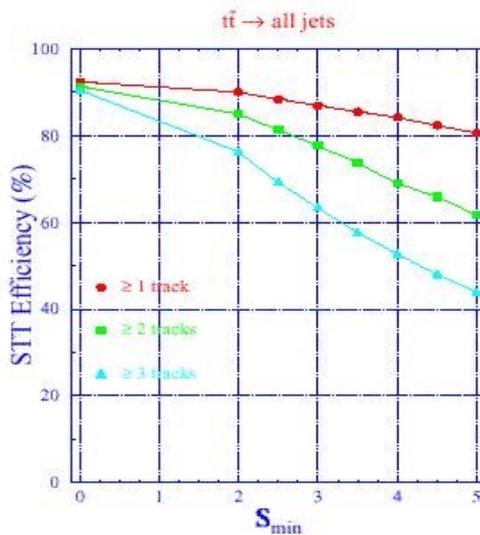
## Algorithme de Vertex déplacés

- hadron b vole sur qqes ~mm  
→ traces de haut paramètre d'impact  $d_0$
- Niveau de déclenchement L2:
  - basé sur re-ajustement des traces centrales
- système de déclenchement:
  - basé sur nb de traces avec:  
 $S = d_0/\sigma_{d0} > 3$



## Performances

- Echantillons de  $ZH \rightarrow \nu\nu b\bar{b}$ :  
efficacité  $\epsilon \sim 20\%$
- Echantillons de  $Z \rightarrow b\bar{b}$ :  
efficacité  $\epsilon \sim 20\%$  vs taux  $\sim 20$  Hz

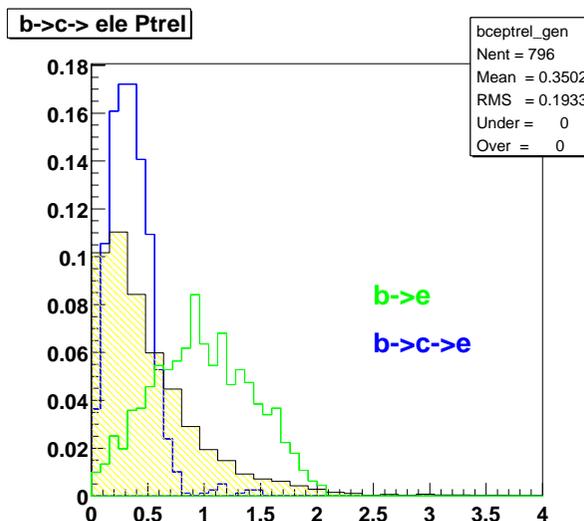
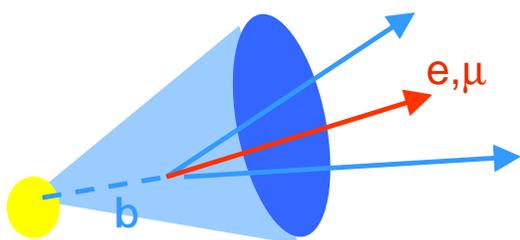


- ➔
- enrichit échantillons d'événements b
  - plus de  $\sim 50,000$   $Z \rightarrow b\bar{b}$  attendus /  $2 \text{ fb}^{-1}$

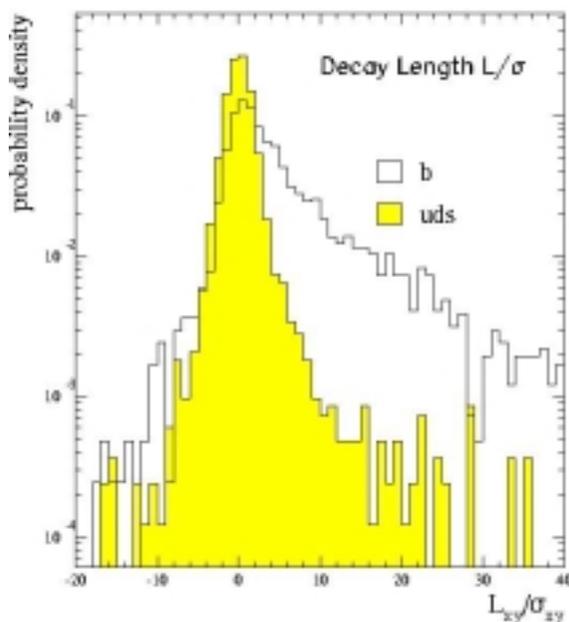
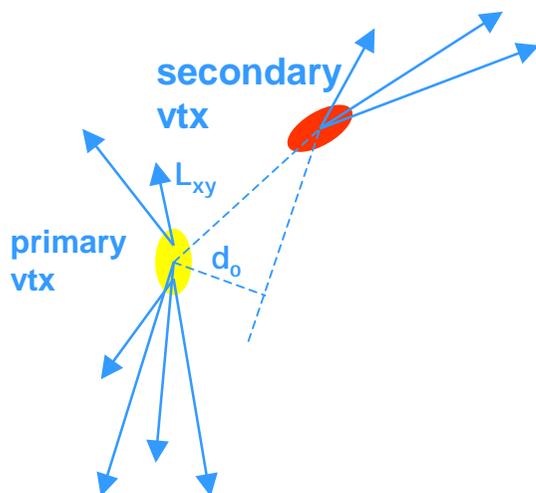
# Etiquetage du b pour la recherche du Higgs

## Méthodes d'étiquetage du b

- Approche "Multi-étiquetage"
  - Lepton mou provenant de  $b \rightarrow lv X$



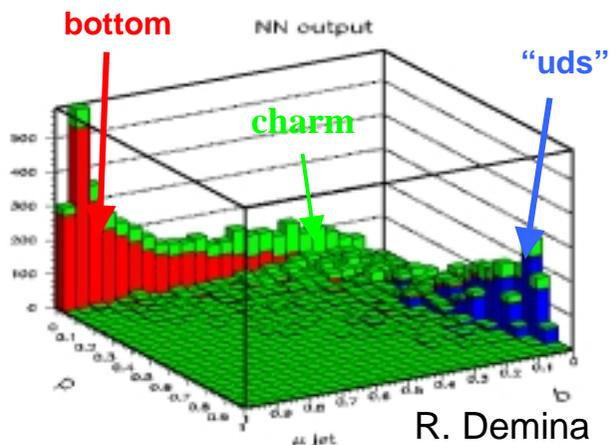
- Vertex Déplacé:  
vertex av 2-tracks vertex,  $\chi^2$   
 $M(\text{vertex}), L_{xy} / \sigma_{xy}$



# Etiquetage du b pour la recherche du Higgs

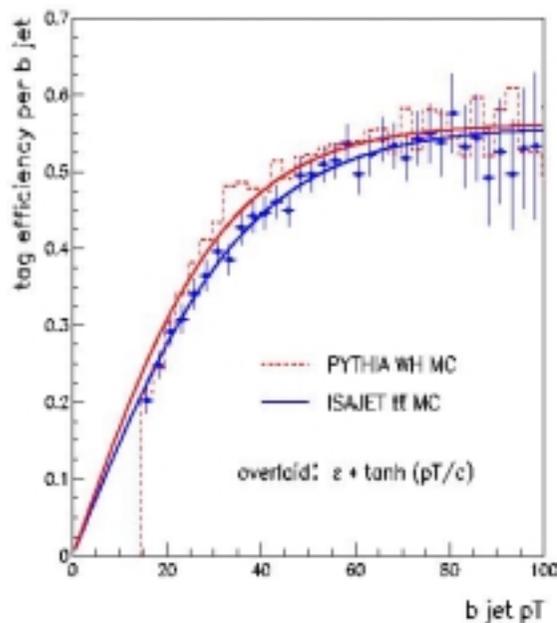
## Méthodes d'étiquetage du b

- Approche avec Likelihood / Neural Net
  - étudiée à l' ISN
  - Combine temps de vol & cinématique
  - Output 3 variables continues:  
P("jet-b")  
P("jet-c")  
P("jet-uds")



## Performances attendues

- Progrès en cours
    - ⇒ Double étiquetage amélioré de +60% p/r CDF Run I
  - Test des études de faisabilité du "Higgs Working Group at TeVatron"
    - $\epsilon \sim 65\%$  (vertex+lepton mou)
    - 1 étiquetage "lache"
    - 1 étiquetage "contraignant"
- ⇒ algorithmes avec simulation complète en cours d'implémentation



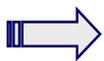
# Calibration des jets de b pour la recherche du Higgs

## Méthode "à la CDF"

- Sélection de  $Z \rightarrow bb$  (CDF run I):
  - Evénements avec  $1 b \rightarrow \mu\nu X$
  - 2 jets étiquetés-b dos-à-dos
  - Coupures Cinématiques
- Analyse **\*\*très\*\*** délicate
  - $S/B \sim 1 / 10^6$  avant coupure
  - $S/B \sim 1 / 30$  après sélection
  - $S \sim 50$  evts /  $0.1 \text{ fb}^{-1}$
- Résolution sur  $M_{bb} = M_Z$

Utilise simulation  $\Delta P = (p^{\text{jet}} - p^b)$

- corrige  $P(\text{jet-b})$  avec  $p^\mu$
- corrige  $P(\text{jet-b})$  avec  $m_{ET}$
- corrige  $P(\text{jet-b})$  pour fraction de chargés

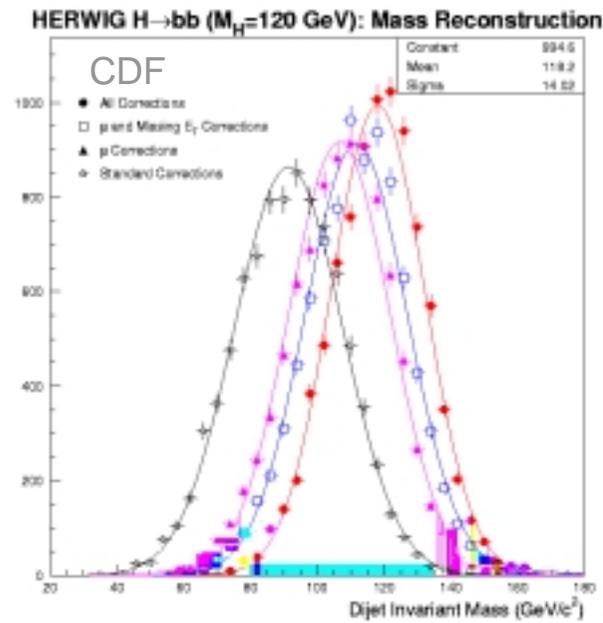
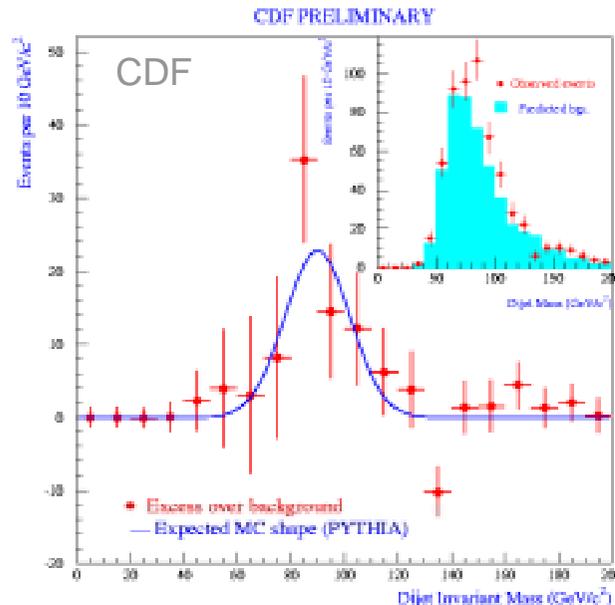


$$\Delta M_{bb} / M_{bb} \sim 15\%$$

⇒ Analyse simulée sur  $H \rightarrow bb$

## Performances au run II

- Echantillon de  $\sim 1000$  evts /  $2 \text{ fb}^{-1}$ 
  - Canal muon :  $Z \rightarrow bb$  ( $b \rightarrow l\nu X$ )
- Design de Déclenchement spécifiques:
  - attend 50000 evts /  $2 \text{ fb}^{-1}$  / expe.



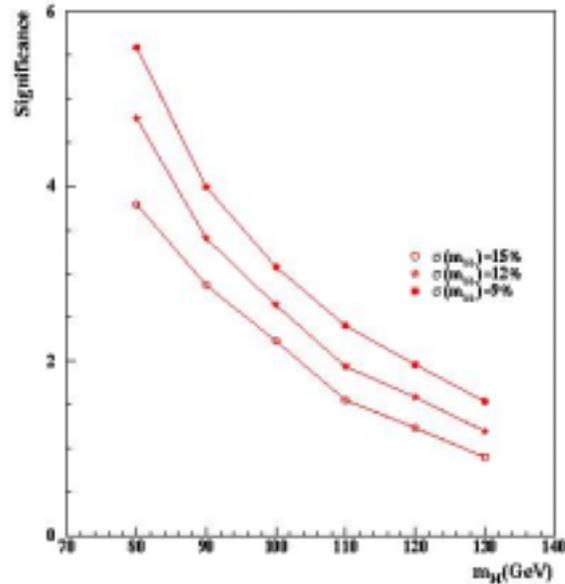
# Recherche directe du Higgs au TeVatron

# Le canal $WH \rightarrow l\nu b\bar{b}$

## Selection:

### “Canal le plus efficace”

- Fonds dominants :
  - $Wb\bar{b}$ , tt, single top, WZ
- paramètres-clef:
  - Etiquetage du b
  - $\varepsilon_b$  vs réjection
  - Résolution  $M(b\bar{b})$
- Variables discriminantes:
  - Lepton  $p_T$ ,
  - énergie manquante  $\cancel{E}_T$
  - 2 jets de b,  $M(b\bar{b})$
  - Analyse “Neural Net” améliore  $S/\sqrt{B}$  de ~30%

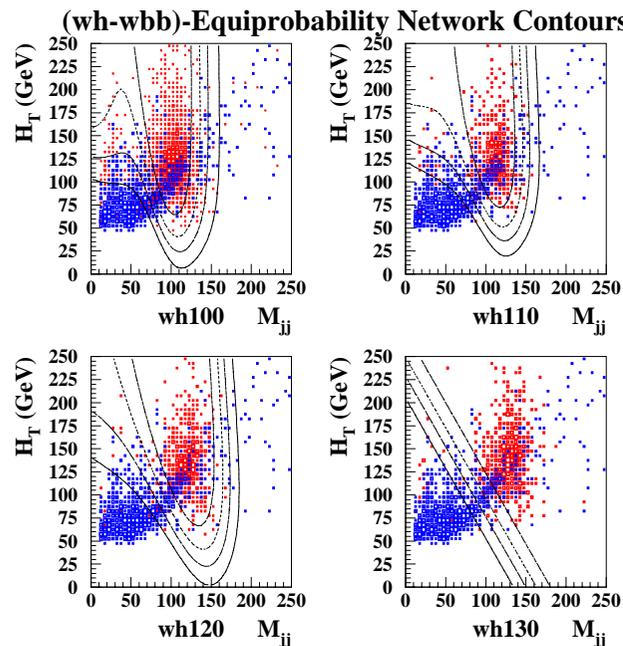


## Résultats attendus:

$m_H(\text{GeV})$	110	120	130
$\sigma_{WH}(\text{pb})$	0.22	0.16	0.12
$\varepsilon_{WH} \times \text{BR}(\%)$	~2.3	~2.3	~2.0
$S/\sqrt{B}(1\text{ fb}^{-1})$	0.72	0.53	0.35



- $S \sim 6 / \text{fb}^{-1}$
- $S/B \sim 10\%$

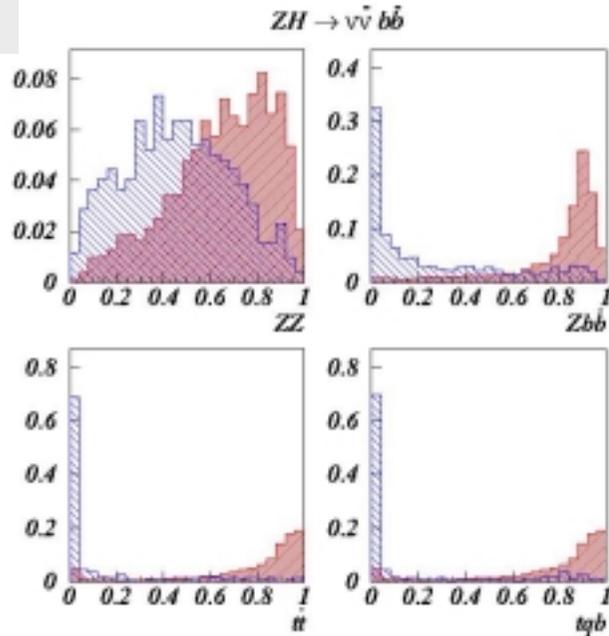


# Le canal $ZH \rightarrow \nu\bar{\nu}b\bar{b}$

## Analyse:

$$\sigma \times \text{BR}(ZH \rightarrow \nu\bar{\nu}b\bar{b}) \sim \sigma \times \text{BR}(WH \rightarrow l\nu b\bar{b})$$

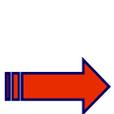
- Sélection:
  - 2 jets-b étiquetés  
 $\Rightarrow M(bb)$
  - Veto de 3<sup>rd</sup> Jet (rej. tt)
  - Energie manquante  $\cancel{E}_T$   
 $\Rightarrow \cancel{E}_T > 35 \text{ GeV}$  (rej. QCD)  
 $\Rightarrow \Delta\Phi(\cancel{E}_T, \text{jet}) > 0.5$  (rej. QCD)
  - Energie hadronique  
 $\Rightarrow H_T < 175 \text{ GeV}$
- Fonds dominants:
  - QCD bb \*\*data?\*\*
  - Wbb, Zbb/cc, ttbar, t



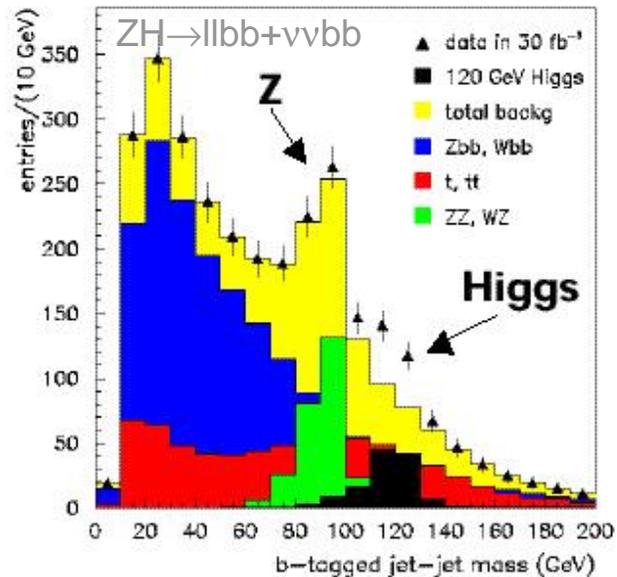
## Résultats attendus:

- QCD ~50% total fonds

$m_H(\text{GeV})$	110	120	130
$\text{BR} \times \sigma_{ZH} (\text{pb})$	0.022	0.010	0.013
$S/\sqrt{B} (1 \text{ fb}^{-1})$	0.84	0.71	0.56



- $S \sim 4 / \text{fb}^{-1}$
- $S/B \sim 15\%$
- distribution de  $M_H$



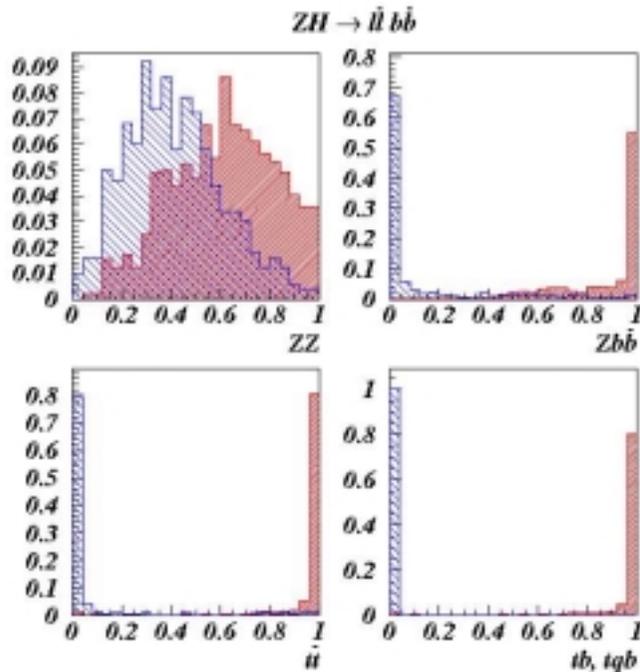
$m_H = 120 \text{ GeV}$

# Le canal $ZH \rightarrow l^+l^-b\bar{b}$

## Analyse:

$$\sigma \times \text{BR}(ZH \rightarrow llbb) \sim 1/3 \sigma \times \text{BR}(WH \rightarrow lvbb)$$

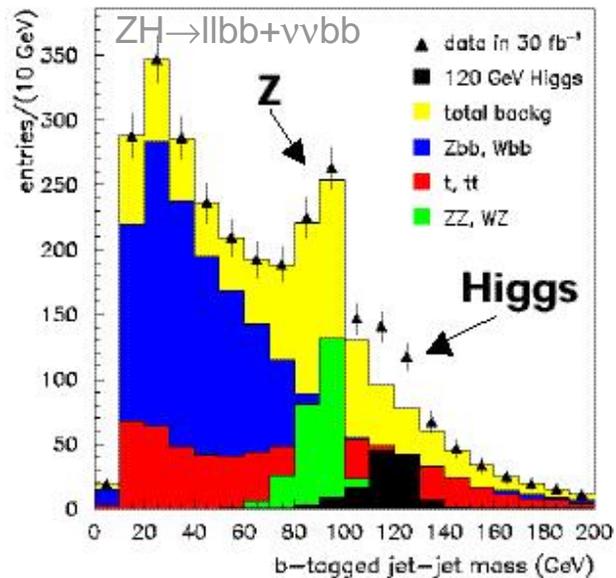
- Sélection:
  - 2 leptons de haut  $p_T$   
 $\Rightarrow M(ll) = M_Z \pm 15 \text{ GeV}$
  - 2 jets de b étiquetés  
 $\Rightarrow M(bb)$
  - Energie hadronique  
 $\Rightarrow H_T < 175 \text{ GeV}$
- Fonds dominants:  $Zbb, t\bar{t}, tb$



## Résultats attendus:

- Complémentaire de  $ZH \rightarrow \nu\nu bb$
- Approche NN gagne 30%

$m_H(\text{GeV})$	110	120	130
$BR \times \sigma_{ZH}(\text{pb})$	0.022	0.016	0.013
$S/\sqrt{B}(1 \text{ fb}^{-1})$	0.54	0.48	0.42



$m_H = 120 \text{ GeV}$



-  $S \sim 0.9-0.6 / \text{fb}^{-1}$   
 -  $S/B \sim 30-45\%$   
 - distribution de  $M_H$

# Le canal $H \rightarrow W^+ W^{*-} \rightarrow l^+ l^- \nu \nu$

## Analyse:

accès au higgs lourd  $130\text{GeV} < m_H$

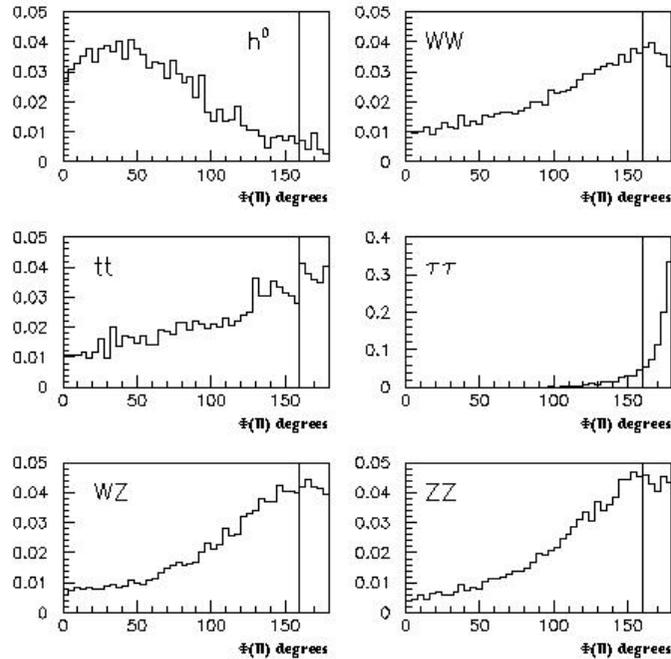
### Sélection:

- 2 leptons  $p_{T>15\text{GeV}}$
- Energie manquante  $\cancel{E}_T$
- Veto de 3<sup>rd</sup> Jet (rej. tt)
- Corrélation de spin
- ⇒  $\Phi(\Pi)$ ,  $\theta(\Pi)$  (rej. WW)
- $M_T(\Pi, \cancel{E}_T)$ ,  $p_T(\Pi)$  (rej.  $\tau^+\tau^-$ )
- Masse "cluster":
- ⇒  $M_C = \sqrt{p_T^2(\Pi) + M_T^2(\Pi)} + \cancel{E}_T$

fonction discriminante

### Fonds Dominants:

- $W^+W^- \rightarrow l^+l^- \nu \nu$
- $W + \text{fake}, tt \rightarrow l^+l^- \nu \nu bb$

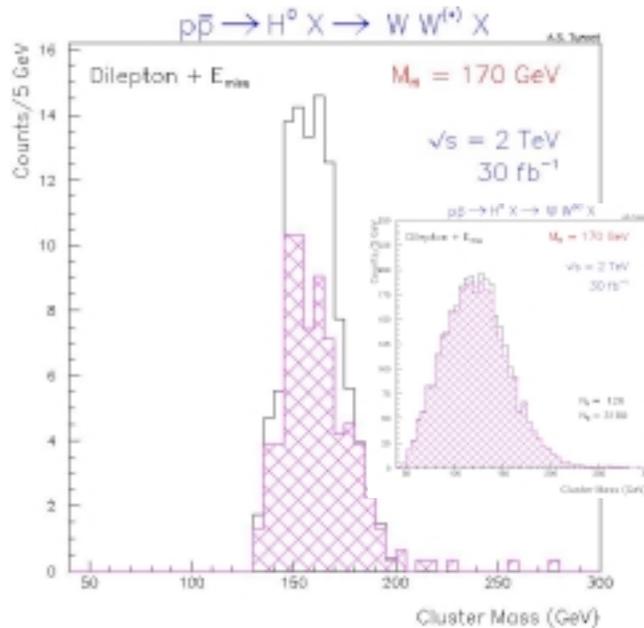


## Résultats attendus:

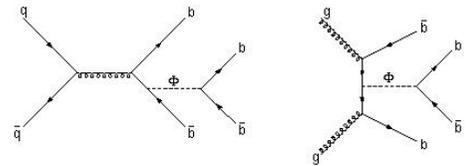
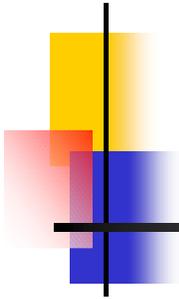
$m_H(\text{GeV}/c^2)$	150	160	170
$\epsilon \times BR(hW^*W^*) \times \sigma_h(\text{fb})$	2.8	1.5	1.1
$S/\sqrt{B}$ (30 fb <sup>-1</sup> )	2.8	3.9	3.8



–  $S \sim 2-3 / \text{fb}^{-1}$   
 –  $S/B \sim 10-45\%$



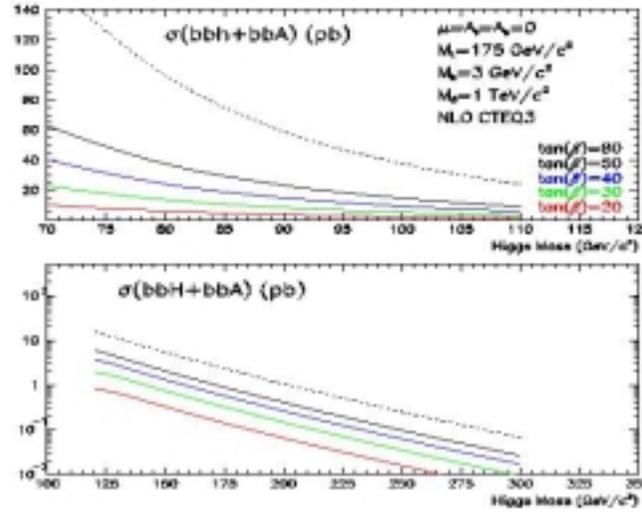
# Higgs SUSY: $pp \rightarrow bb\phi \rightarrow bbbb$



## Analyse:

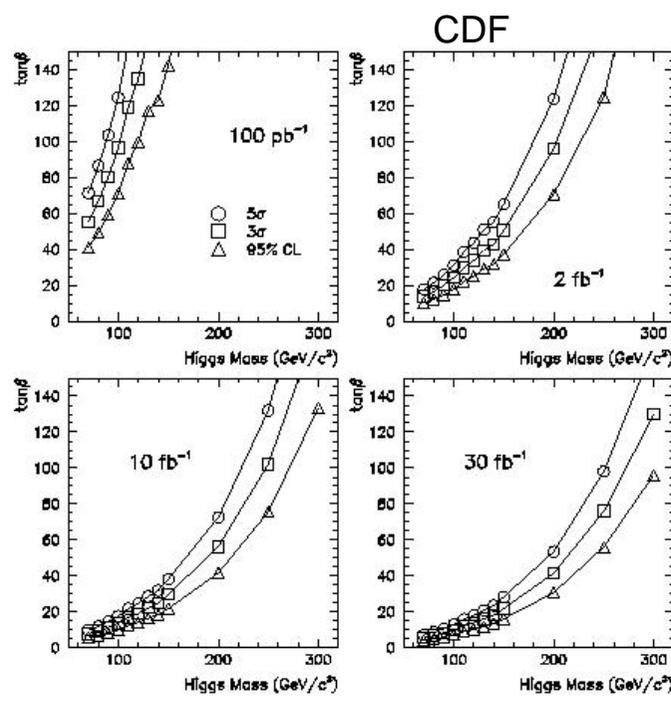
canal important pour  $\tan\beta \gg 1$

- Sélection pour  $\phi = h, H, A$ 
  - Déclenchement multi-jets  $\Rightarrow \sum E_T > 125 \text{ GeV}$
  - 4 jets de b  $\Rightarrow 3$  jets b-étiquetés
  - Coupures  $E_T(j) = f(m_h)$
  - Topologie des jets b:  $\Rightarrow \Delta\Phi(bb) > 109^\circ$  (rej.  $g \rightarrow bb$ )
- Fonds dominants:
  - QCD ( $bb/cc$ )
  - Z/W+jet-jet, t-tbar

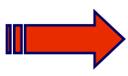


## Résultats attendus

- combinaison des canaux
- analyses dans le plan  $(m_H, \tan\beta)$
- dépend des simulations QCD !



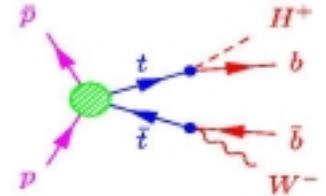
**$\tan\beta = 40:$**   
 $S = 13-26$   
 $S/B \sim 21\% - 34\%$   
 $S/\sqrt{B} \sim 1.4-2.0$



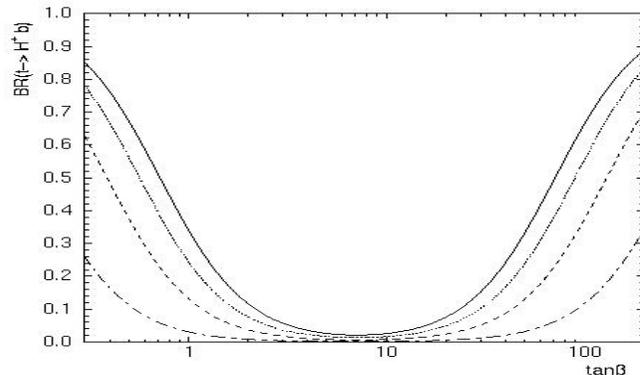
# Higgs SUSY: $t^+ \rightarrow H^+ b$

## Analyse:

Recherche de  $t \rightarrow bH^\pm$  pour  $m_{H^\pm} < m_t - m_b$ ,



- Sélection de paires t-tbar
  - $BR(t \rightarrow bH^\pm) \sim BR(t \rightarrow Wb)$  (MS)
  - pour grand et petit  $\tan\beta$
- Désintégrations du  $H^\pm$ :
  - $H^\pm \rightarrow \tau\nu, cs$
  - $H^\pm \rightarrow t^*b \rightarrow Wbb$
- Statistique ttbar / expérience ( $2 \text{ fb}^{-1}$ ):
  - $\sim 3,800 \text{ tt} \rightarrow WbWb \rightarrow blvbij$
  - $\sim 200 \text{ tt} \rightarrow WbWb \rightarrow blvblv$



## Recherche directe

- Extension de l'analyse CDF run I
  - $H^\pm \rightarrow \tau\nu$  in t-tbar
  - $\Rightarrow$  Accès aux grands  $\tan\beta$
  - $H^\pm \rightarrow cs$  ?
  - $\Rightarrow$  Accessible si  $m_{H^\pm} > m_W$

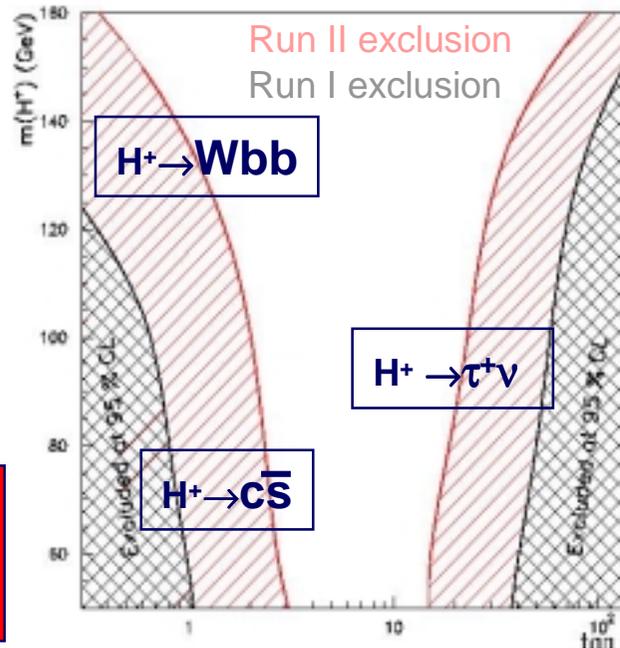
## Recherche indirecte

- Efficacité de sélection t-tbar
  - petite pour  $H^\pm \rightarrow \tau\nu, cs$  !
- $\rightarrow$  Mesure du déficit de  $\sigma(t\text{-tbar})$

$S \sim$  dépend de  $\tan\beta$   
 $BR(t \rightarrow bH^\pm) \sim 0.5-0.9$  ( $\tan\beta \gg 1$ )  
 Exclusion importante au run II

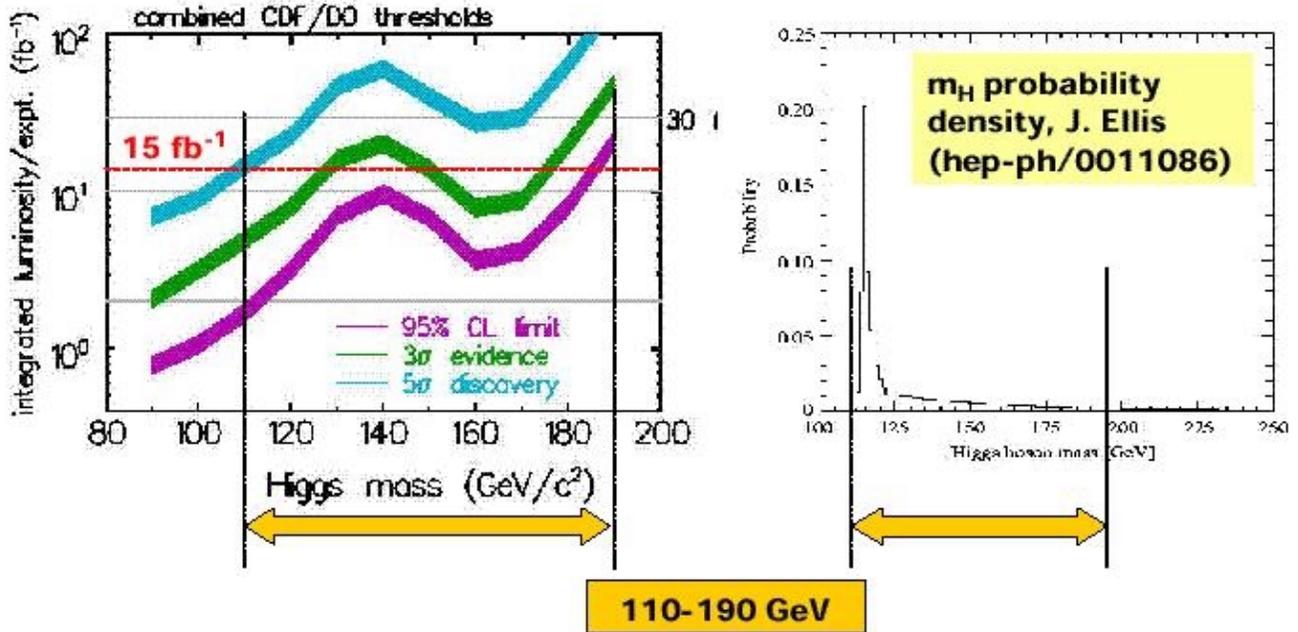
$BR(t \rightarrow bH^+) > 0.5$

DØ



# Recherche directe: résumé

## Combinaison de tous canaux



- **$m_H < 130-140$  GeV**
  - Le canal  $H \rightarrow b\bar{b}$  est \*difficile\* au TeVatron et requiert:
    - des outils spécifiques a la détection du b , calibration des jets
  - Grande sensibilité au Higgs non standard si  $\tan\beta \gg 1$
- **$m_H > 130-140$  GeV**
  - Le canal  $H \rightarrow W^*W^*$  est \*plus facile\* au TeVatron et requiert:
    - déclenchement, résolution énergie manquante ...
- **Dans tous les cas, requiert:**
  - La détermination théorique précise des \*fonds\* & signaux attendus
    - k-facteur variant de 1.5 a 3 !!  
ex: fonds  $\sigma(Wb\bar{b})$ ,  $\sigma(Zb\bar{b})$  comme Signal  $\sigma(gg \rightarrow H)$
    - connaissance des fonctions de densité partonique (pdf)

# Recherche Indirecte du Higgs

# Liens entre le Higgs et $m_t$ , $m_W$

## Le Modèle Standard

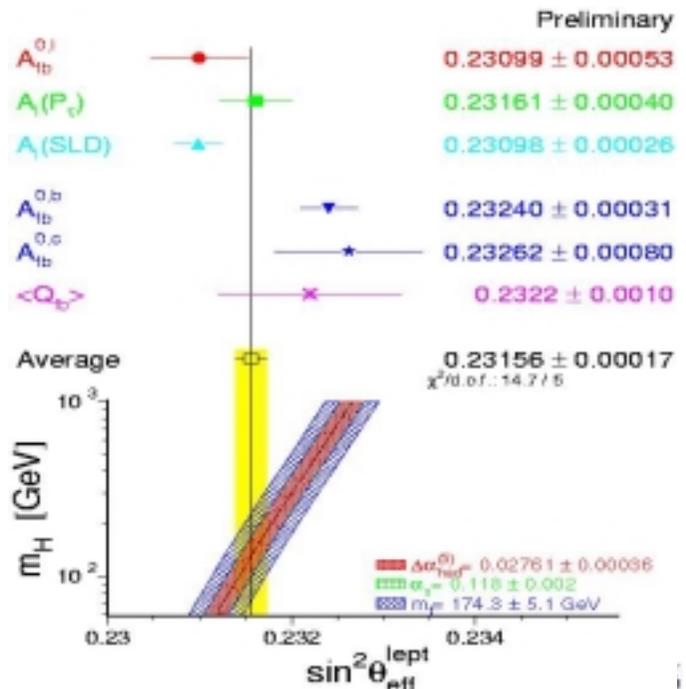
décrit les phénomènes jusqu'à  $\Lambda = O(100 \text{ GeV})$   
 prédit \*toutes\* les observables à partir de:

Paramètre	Nom	influe sur
$G_\mu$ $\alpha(0)$ $M_Z$	constante de Fermi constante structure fine Masse du boson Z	Ordre 0 de la théorie
$m_f$ ( $m_t$ ) $m_H$	masses des fermions (*top*) masse du Higgs	Ordres supérieurs

– et de paramètres dérivés:  $\sin^2\theta_W^{\text{eff}}$  (lié aux couplages  $Zff$  :  $g_V$  et  $g_A$ )

## Extraction de contraintes sur $m_H$

- Paramètres les plus sensibles :
  - masse du W:  $m_W$
  - masse du quark Top :  $m_t$
  - Angle  $\sin^2\theta_W^{\text{eff}}$

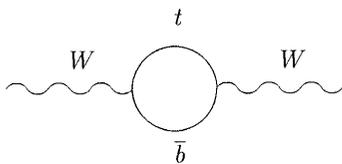


# Contraintes sur $m_H$ provenant de $m_W$ et $m_t$

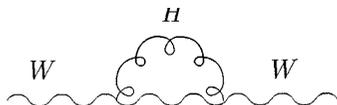
## Contraintes provenant de $m_W$ et $m_t$

- La masse du W s'écrit en  $f(m_t, m_H)$

$$m_W \rightarrow m_W + \Delta m_W$$



$$\Delta m_W \propto m_t^2/m_W^2$$

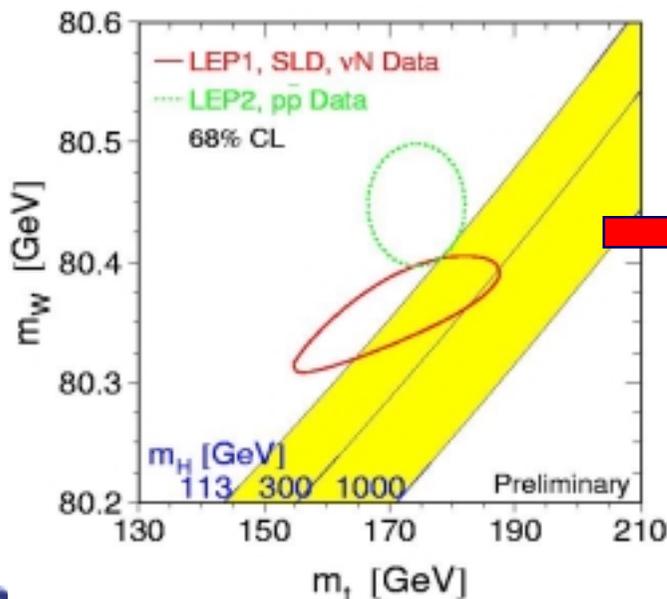


$$\Delta m_W \propto \ln(m_H^2/m_W^2)$$

⇒ Mesures de  $m_t$  et  $m_W$  contraignent  $m_H$

## Mesures existantes avant le Run II

- Contraintes indirectes LEP (contour)
- Mesures directes LEP2+TeVatron run I



### Conclusions:

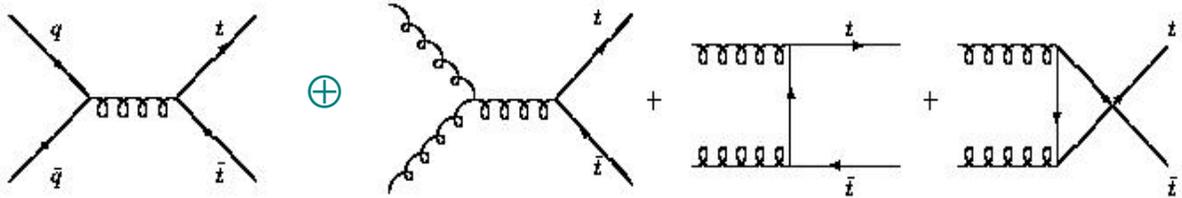
- $m_H > 114$  GeV
- $m_H$  léger favorisé
- \*\*\*si\*\*\*:
- compatibilité des mesures entre elles pour  $m_W$  et  $\sin^2\theta_W^{\text{eff}}$  est avérée !!

(Davier, SUSY 2001)

# Production du Quark Top au TeVatron

## Production de paires de quarks Top

- annihilation de quarks  $\oplus$  fusion de gluons



- Section efficace de production:

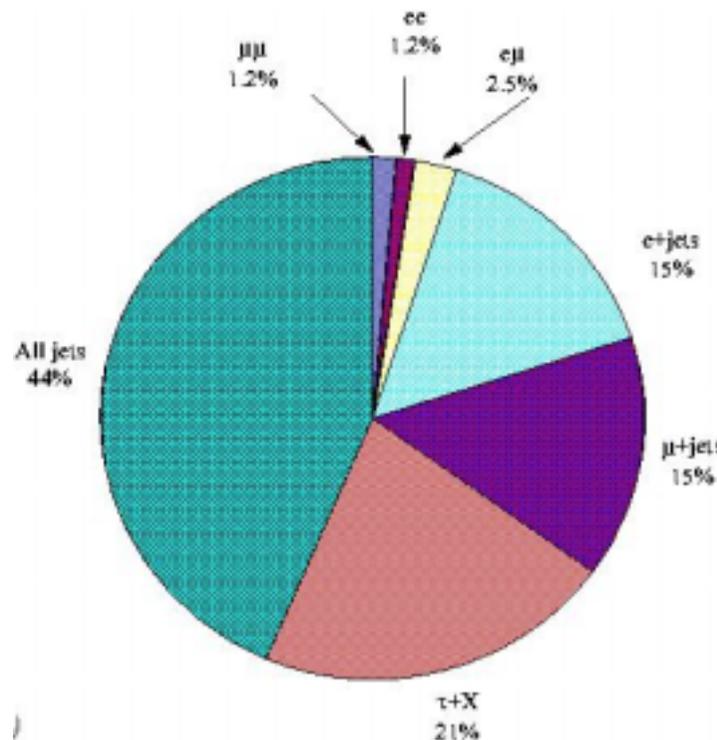
	$E_{CM}=1.8 \text{ TeV}$	$E_{CM}=2.0 \text{ TeV}$
$\sigma(tt)$	5.5 pb	7.5 pb
Etat initial qq	90%	85%
Etat initial gg	10%	15%

## Désintégrations du Quark Top

- Classification états finaux:
  - $bjj+blv \Rightarrow$  "jets + leptons"
  - $blv+blv \Rightarrow$  "di-leptons"
  - $bjj+bjj \Rightarrow$  "all-jets"

- Statistiques:

Processus	Canal	Run II(2 $\text{fb}^{-1}$ )
$tt + X$	di-lepton	200
	$l+\geq 4\text{jets}$	1800
	$l+\geq 4\text{jets}/b\text{-tag}$	1400
	$l+\geq 4\text{jets}/b\text{-b tag}$	600
$t + X$		330



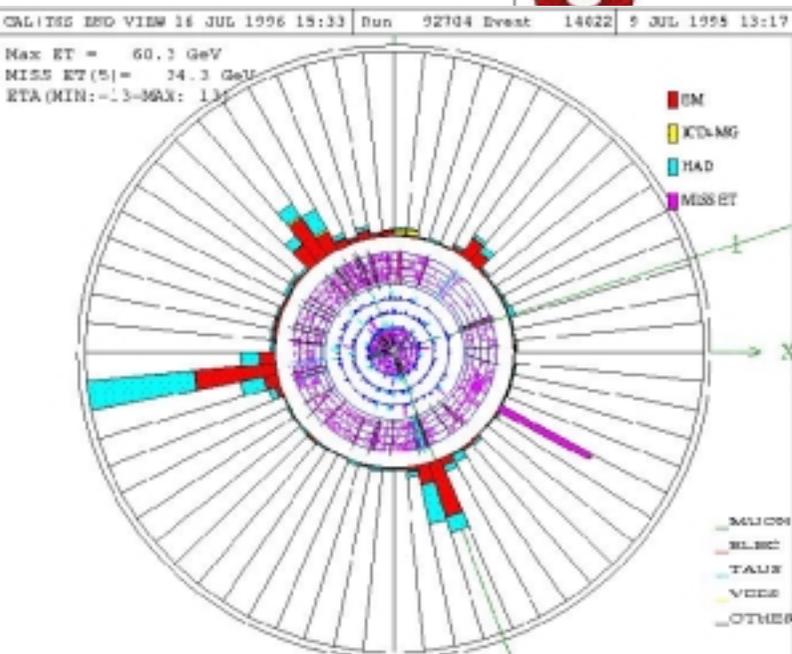
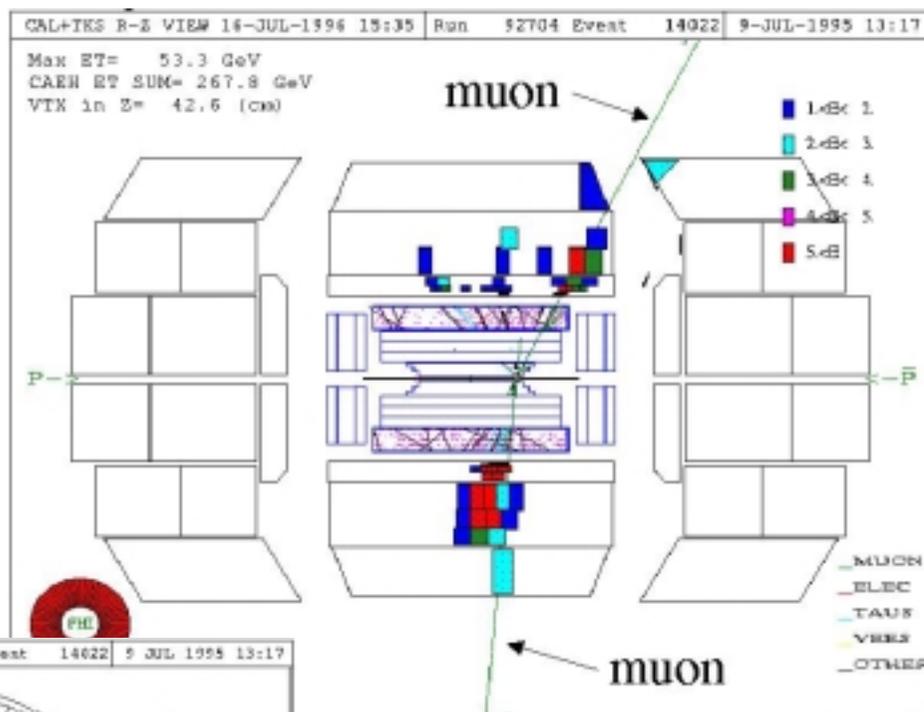
# Un événement t-tbar

## Etiquetage du b par "lepton mou"

Etiquetage- $\mu$  avec  $\epsilon_b^\mu \sim 10\%$  / jet

Etiquetage avec e (algo complexe) : PS+Calorimetre+CFT

$\Rightarrow$  ttbar (b-lepton)  $\epsilon_b^l \sim 20\%$



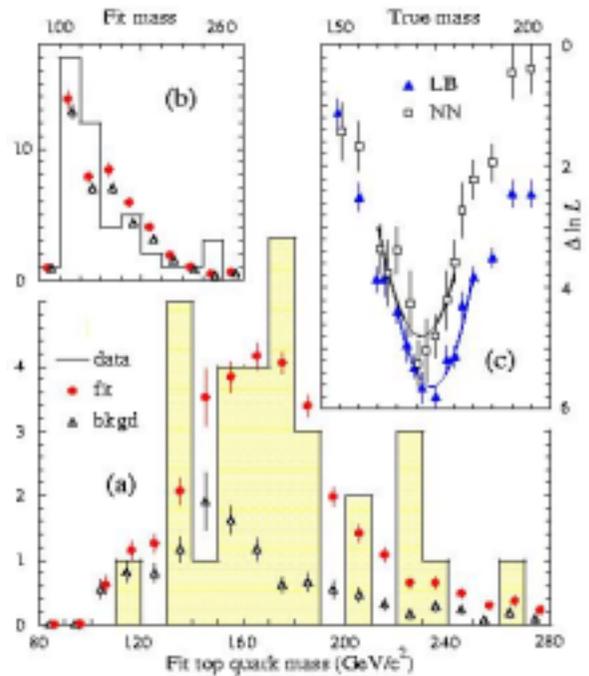
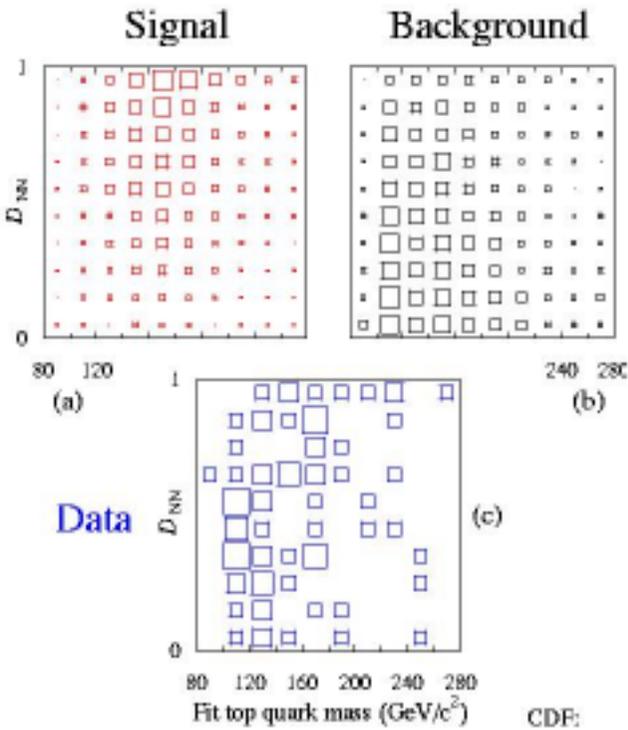
# Masse du Top: "lepton+jets"

## Détermination de la Masse: [Abott et al., hep-ex/9801025]

Ajustement likelihood  $L(m_t) = D / 1+D$  dans le plan  $(m_t, D)$

91 événements (7 b-tags)

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



## Incertitudes principales:

- Echelle d'énergie
- Combinatoire + gluon
  - 12 (pas btag)
  - 6 (1 b-tag)

Systématiques	Erreur
échelle d'énergie Jet	4.0 GeV
Fond W+jets	2.5 GeV
tt QCD radiation	1.9 GeV
Bruit & int. multiple	1.3 GeV
MC statistique	0.9 GeV
Fit Likelihood	1.0 GeV
<b>TOTAL</b>	<b>5.4 GeV</b>

# Masse du Top au Run II

## Perspectives au Run II

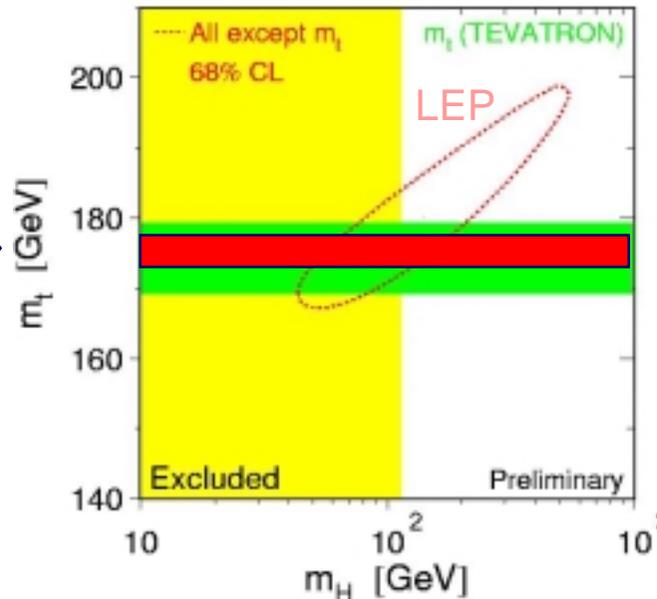
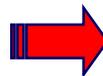
- Capacité de sélections accrues:
  - Calibration des jets  $p_T$  utilisant les data:  $Z$ +jets ,  $\gamma$ +jets,  $W \rightarrow \text{jet jet}$ ,  $Z \rightarrow b\bar{b}$
  - Contraintes simulations par data
  - Meilleure identification des  $e/\mu$
  - Meilleure systématique avec double-étiquetage du  $b$
- Erreurs systématiques probablement réduites:

Incertitudes	Run I	Run II
<b>Statistiques</b>	<b>5.6 GeV</b>	<b>1.3 GeV</b>
<b>Energie Jet</b>	<b>4.0 GeV</b>	<b>2.2 GeV</b>
<b>Generateur Fond</b>	<b>2.5 GeV</b>	<b>0.7 GeV</b>
<b>Generateur Signal</b>	<b>1.9 GeV</b>	<b>0.4 GeV</b>
<b>Fit Likelihood</b>	<b>1.1 GeV</b>	<b>0.3 GeV</b>
<b>Total syst.</b>	<b>5.5 GeV</b>	<b>2.3 GeV</b>
<b>TOTAL</b>	<b>7.8 GeV</b>	<b>2.7 GeV</b>

- Résultats attendus

Incertitude attendue sur  $m_t$ :  
 $[2 \text{ fb}^{-1}] : \Delta m_t = 3 \text{ GeV}/c^2$

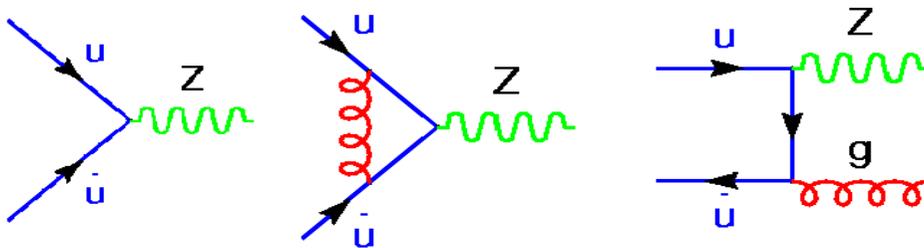
$[15 \text{ fb}^{-1}] : \Delta m_t = 1.5 \text{ GeV}/c^2$



# Production des bosons W/Z au TeVatron

## Production des bosons au Run II

- Graphes (Z):



- Sections efficaces élevées:

$$\sigma(pp \rightarrow W+X) \sim 7 \text{ nb}$$

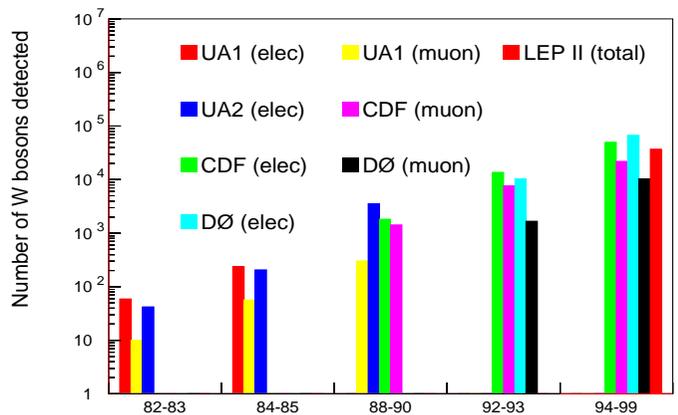
$$\sigma(pp \rightarrow Z+X) \sim 0.2 \text{ nb}$$

- Modes au Run II:

$$W \rightarrow e\nu, \mu\nu (\sim 11\%)$$

$$Z \rightarrow ee, \mu\mu (\sim 3\%)$$

$$Z \rightarrow bb (\sim 15\%)$$



Years of Collider Runs (SPS, Tevatron and LEP II)

- Statistique attendue ( $2 \text{ fb}^{-1}$ ):

$W/Z + X$	$W \rightarrow e\nu$	$1.6 \times 10^6$
	$Z \rightarrow ee$	$160 \times 10^3$
$W\gamma, Z\gamma$		1000
$WW, WZ, ZZ$	$\geq 2$ leptons	150

# Masse du boson W

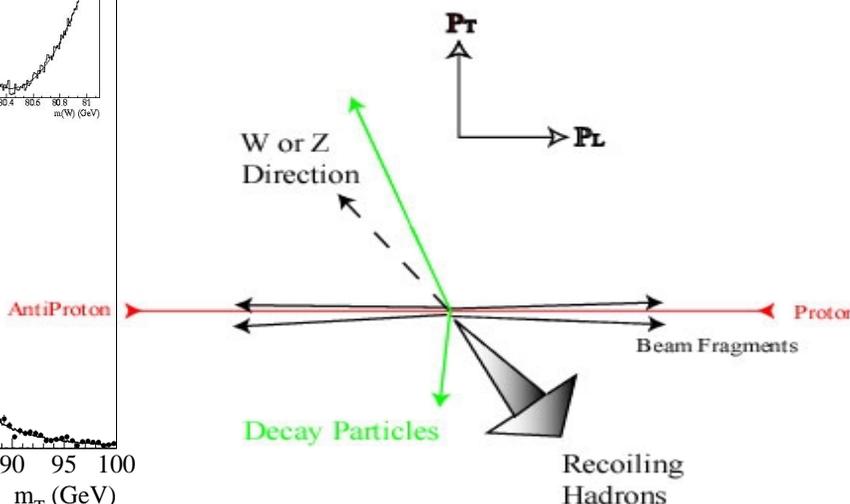
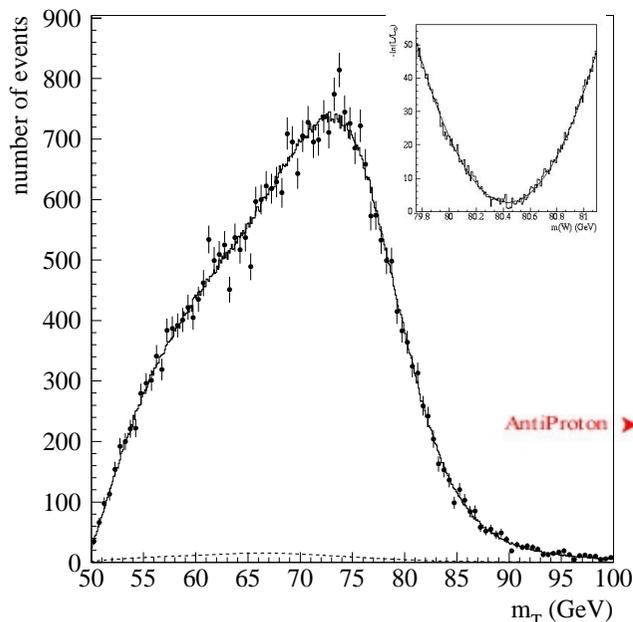
## Masse au Run I

- Masse transverse:

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

- Résultats DØ:

$$m_W = 80.48 \pm 0.09 \text{ GeV}/c^2$$



- Incertitudes dominantes:

Incertitudes	Run I
Statistiques	65 MeV
Energie Jet	75 MeV
Resolution Detecteur	25 MeV
PDF's	15 MeV
$P_T(W)$	15 MeV
Recul (Modèle)	37 MeV
<b>TOTAL</b>	<b>92 MeV</b>

# Masse du boson W au Run II

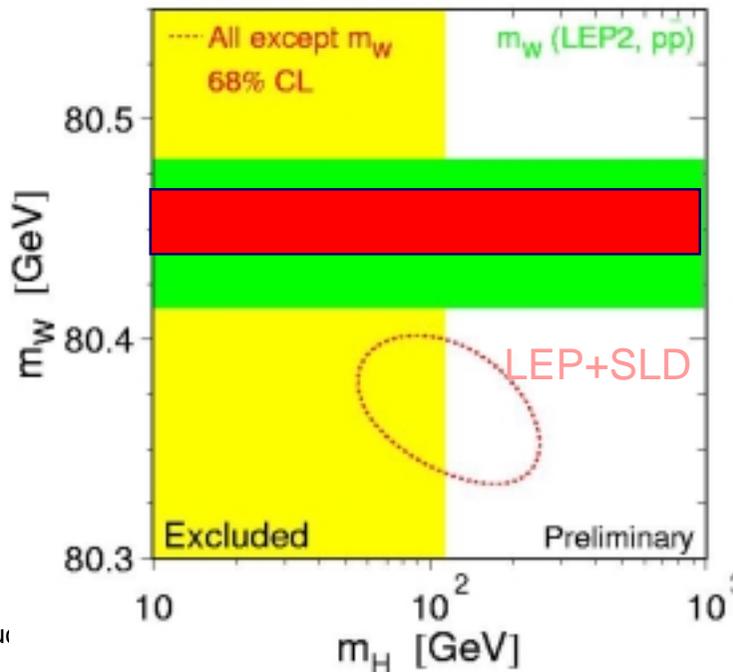
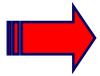
## Perspectives au Run II

Réduction des incertitudes

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

- Résultats attendus

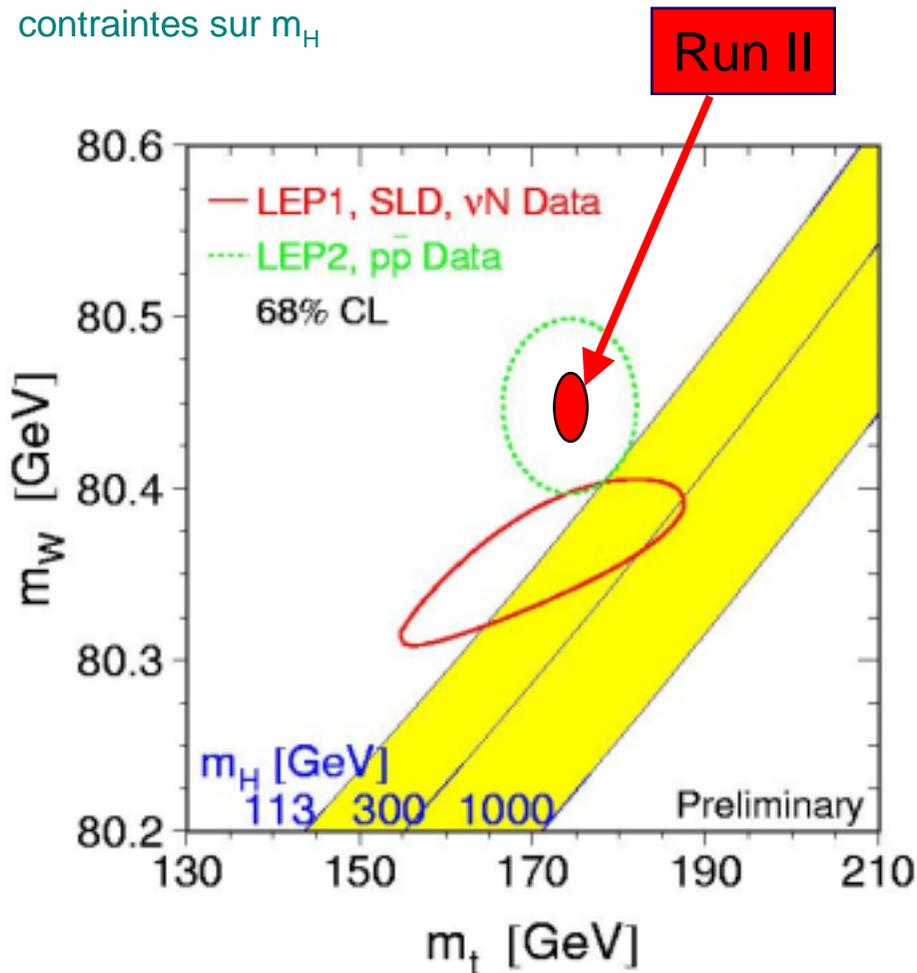
Incertitudes attendues:  
 $[2 \text{ fb}^{-1}] : \Delta m_W = 40 \text{ MeV}/c^2$   
 $[15 \text{ fb}^{-1}] : \Delta m_W = 15 \text{ MeV}/c^2$



# Contraintes indirectes sur $m_H$

## Résultats attendus

- Mesures des masses  $m_t, m_W$  au TeVatron
  - vérification de la cohérence des résultats sur  $m_W$
  - contraintes sur  $m_H$



# Conclusion

**Non, le TeVatron Run II n'a pas été construit pour le Higgs...**

**...cependant...**

- les mesures indirectes semblent favoriser un Higgs léger
- les mesures directes de LEP-2 → possibilité de signal  $m_H \sim 115 \text{ GeV}/c^2$

**...le TeVatron peut alors apporter des réponses:**

- grace à l'amélioration du collisionneur
  - accroissement de la luminosité (inst.) →  $15 \text{ fb}^{-1}$  d'ici 2007
- grace à des améliorations significatives des 2 détecteurs
  - nouveaux détecteurs de traces ( vertex du b )
  - nouveaux détecteurs pied-de gerbe (identification des leptons)
  - amélioration des capacités d'identification des muons
  - électronique + rapide et déclenchement pour large bande passante

**La recherche du Higgs au TeVatron:**

Recherche directe sur la gamme  $115 < m_H < 180 \text{ GeV}$ :

- exclusion à 95% d'un Higgs avec  $4 \text{ fb}^{-1}$  (2003)
  - $m_H < 125 \text{ GeV}$  et  $155 < m_H < 175 \text{ GeV}$
- évidence à  $3\sigma$  avec  $20 \text{ fb}^{-1}$ 
  - $m_H < 180 \text{ GeV}$

Recherche indirecte:

- mesures de précision sur  $m_t$ ,  $m_W$
- mesures des asymétries  $A_{fb}(Z)$  au TeVatron  $\Rightarrow \sin^2\theta_W^{\text{eff}}$

# ....What about $m_H = 115$ GeV ?

- **If Higgs is indeed here:**

- Signal Evidence requires
  - $\sim 5 \text{ fb}^{-1}$  with  $3\sigma$  evidence (2004-5)
- Expected number of events
  - per experiment with  $15 \text{ fb}^{-1}$  (2007)

<i>Mode</i>	<i>Signal</i>	<i>Background</i>	<i>S/<math>\sqrt{B}</math></i>
<i>l<math>\nu</math>bb</i>	92	450	4.3
<i><math>\nu\nu</math>bb</i>	90	880	3.0
<i>llbb</i>	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  $\sim 8\%$ ) ?
  - Can we see  $H \rightarrow W^*W^*$  (BR  $\sim 5\%$ ) ?

- **If Higgs is not here:**

- we can exclude a  $m_H = 115$  GeV Higgs
  - at 95% CL with  $2 \text{ fb}^{-1}$  (2003)

MORIOND 2001

# Programme: Run IIa

Date	Goal	Comments
Feb 28	Establish interlocks	No access for DØ
March 1	Tevatron cold; ready for beam	No access for DØ
Mar. 1-Apr 1	Proton only studies	No access for DØ ( but there has been plenty of access)
~Apr 2-5	1x8 store(s)	Central orbit

April 6-April 20	Establish 36x36	Helical Orbit No access for DØ
April 21-27	36x36 stores	
April 28-May 12	2 week shutdown	Access to detector
Or more likely ( Goal: keep shutdown in April):		
April 6-April 20	2 week shutdown	Access to detector
April 21-27	Establish 36x36	Helical Orbit No access for DØ
April 28-May 12	36x36 stores	

## Longer range outlook:

May 13 → August	Stores with possible interruptions	With at least one 2 week shutdown
September 2001	One month shutdown	Access to detector