

# **IDENTIFICATION DES LEPTONS TAUS POUR LA RECHERCHE DE NOUVELLE PHYSIQUE AVEC LE DETECTEUR D0**

**Séminaire du LPSC à Grenoble  
le 17 avril 2007**

**Catherine Biscarat (IPN de Lyon)**



# PLAN DE L'EXPOSÉ

- **motivations physiques**
- **reconstruction et identification des taus**
- **validation des algorithmes**
- **recherche de nouvelles particules**
- **remarques finales**

# PROPRIÉTÉS DES LEPTONS TAUS

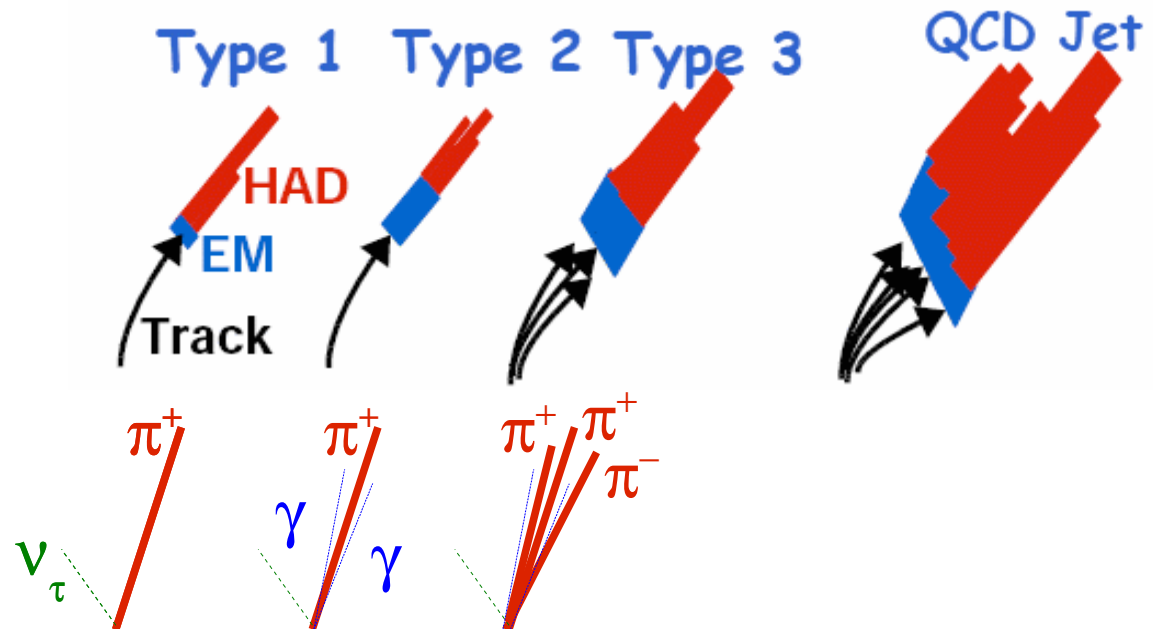
- **temps de vie:**  $c\tau = 87 \mu\text{m}$ 
  - le tau se désintègre avant d'atteindre le détecteur
- **masse et canaux de désintégrations:**
  - $m_\tau = 1.78 \text{ GeV}$ , soit 17 fois la masse du muon et 3500 fois la masse de l'électron
  - le tau se désintègre (via l'émission d'un  $W^*$ ) en lepton plus léger ou bien en quarks
  - charge de couleur portée par les quarks augmente taux d'embranchement en quarks (x3)
  - états finals à 1, 3 ou 5 traces chargées ("prongs"); PDG: plus de 100 canaux de désintégrations

PRINCIPAUX MODES	FRACTION
$e \nu \nu$	(17.84 +/- 0.05) %
$\mu \nu \nu$	(17.36 +/- 0.05) %
$h^{+/-} \nu$	(11.59 +/- 0.06) %
$h^{+/-} \pi^0 \nu$	(25.95 +/- 0.10) %
$h^{+/-} 2\pi^0 \nu$	( 9.47 +/- 0.12) %
$h^{+/-} h^{+/-} h^{-/+} \nu$	( 9.87 +/- 0.08) %
$h^{+/-} h^{+/-} h^{-/+} \pi^0 \nu$	( 4.73 +/- 0.07) %

# DESSINES-MOI UN TAU

- désintégration leptonique du tau -> électrons et muons isolés, identification standard des e et des  $\mu$
- les taus sont identifiés dans leurs modes de désintégration hadronique (65%)
- signature expérimentale:

- un amas calorimétrique fin
- avec peu de traces associées



- identification délicate dans les collisionneurs hadroniques (caractéristiques proches des “jets” provenant de l’hadronisation des quarks et des gluons, abondamment produits dans les événements de QCD, dits « multijets »)

# MAIS POURQUOI LES TAUS ALORS ?

- **les bosons de jauge du Modèle Standard (MS)**

- universalité des couplages de Yukawa aux leptons
- pour une efficacité identique pour tous les leptons, augmentation de l'acceptance vis-a-vis des canaux e/mu
  - 1 lepton unique (e ou  $\mu$ ): x 1.5
  - 2 leptons seuls (e ou  $\mu$ ): x 2.
  - 3 leptons seuls (e ou  $\mu$ ): x 3.

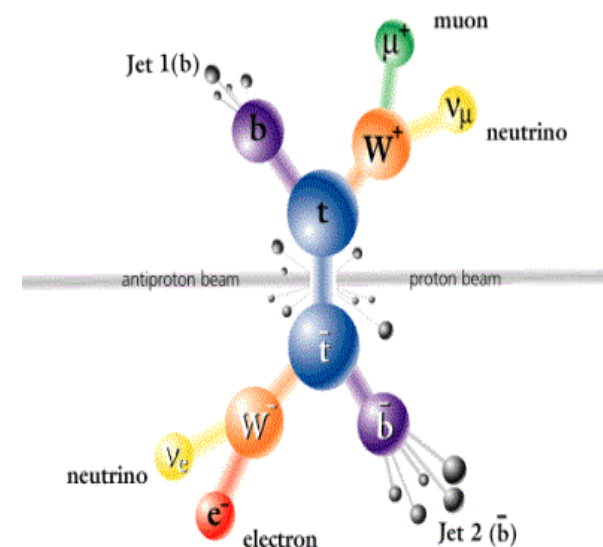
DECAY	FRACTION
W $\rightarrow$ e+nu	(10.75 $\pm$ 0.13 ) %
W $\rightarrow$ mu+nu	(10.57 $\pm$ 0.15 ) %
W $\rightarrow$ tau+nu	(11.25 $\pm$ 0.20 ) %
Z $\rightarrow$ e+e	( 3.363 $\pm$ 0.004) %
Z $\rightarrow$ mu+mu	( 3.366 $\pm$ 0.007) %
Z $\rightarrow$ tau+tau	( 3.370 $\pm$ 0.008) %

- **mesure de la section efficace de production de paires de quark top**

- Canal e+jets et  $\mu$ +jets ( $\mathcal{L}_{\text{int}} = 370 \text{ pb}^{-1}$ ) :  

$$\sigma(\text{t}\bar{\text{t}})/\text{pb} = 8.14 +0.90 -0.84 \text{ (stat)} +0.90 -0.81 \text{ (syst)} \pm 0.53 \text{ (lumi)}$$
 [erreur dominée par l'étiquetage des b-jets]
- Canal  $\tau$ +jets ( $\mathcal{L}_{\text{int}} = 350 \text{ pb}^{-1}$ ) :  

$$\sigma(\text{t}\bar{\text{t}})/\text{pb} = 5.05 +4.31 -3.46 \text{ (stat)} +0.68 -0.67 \text{ (syst)} \pm 0.33 \text{ (lumi)}$$

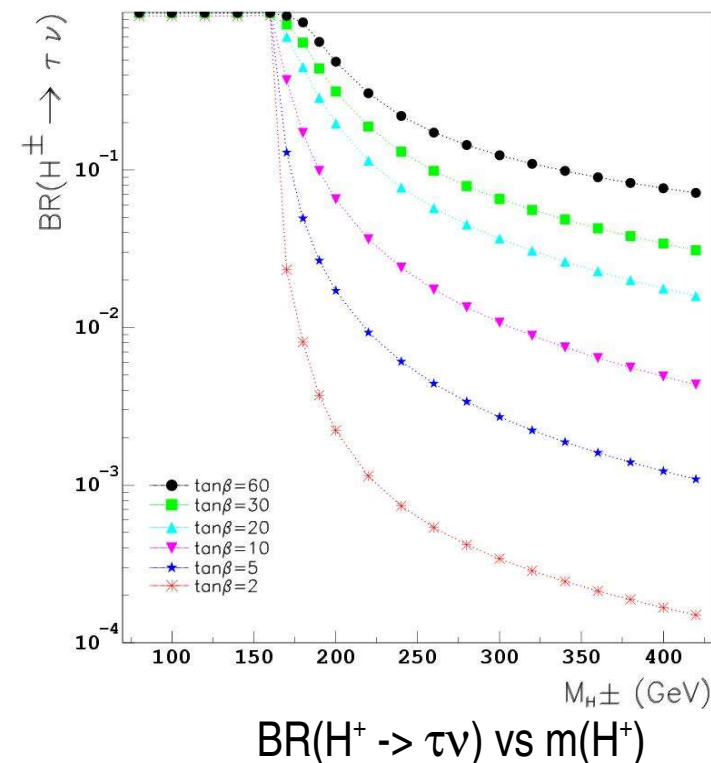


# UNE QUESTION DE MASSE

De part sa masse élevée, le lepton tau joue un rôle particulier pour les particules non standards.

- **bosons de Higgs:**

- MS: grands couplages de Yukawa aux particules lourdes
- 2 doublets (SUSY): augmentation des couplages de Yukawa par rapport au MS pour certains paramètres des modèles
- la désintégration en  $\tau$  est favorisée par rapport aux  $e$  et  $\mu$
- **bosons de Higgs chargés:** désintégration en  $\tau\nu$  largement dominante pour  $m(H^+) < m(\text{top})$ ; voie complémentaire en paire de quarks  $cs$  ou  $cb$ ,  $O(\%)$
- **bosons de Higgs neutres:**  $h \rightarrow b\bar{b}$  ( $\sim 90\%$ ),  $h \rightarrow \tau\tau$  ( $\sim 10\%$ ) pour  $m(h) < \sim 120$  GeV [désintégration en particules du MS]



# UNE QUESTION DE MASSE

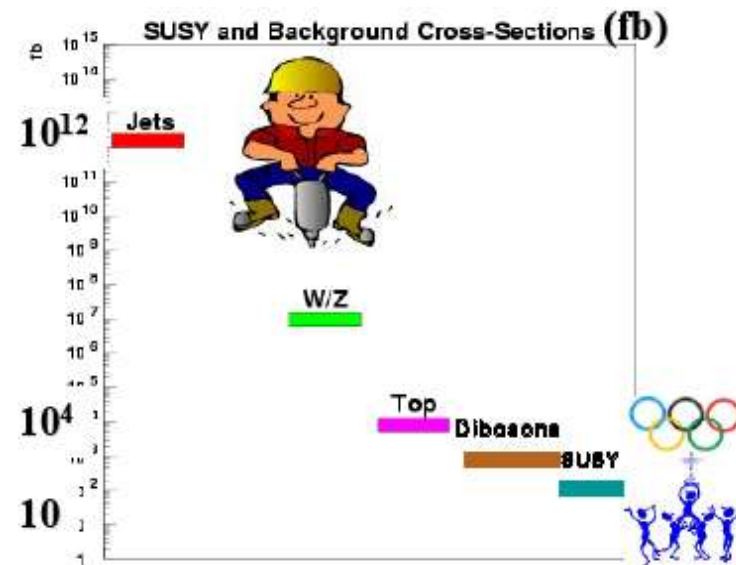
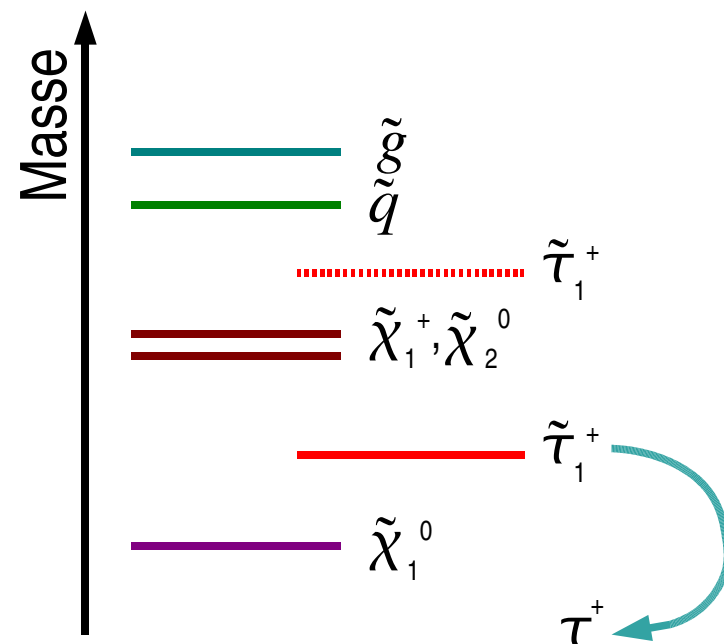
- Supersymétrie:**

- la différence de masse des partenaires supersymétriques des leptons (les sleptons) dépend de la masse des leptons, celle-ci est donc maximale pour les staus

$$\begin{pmatrix} M_{\tilde{\ell}_L}^2 + m_\ell^2 & m_\ell \times (A_\ell - \mu \tan\beta) \\ m_\ell \times (A_\ell - \mu \tan\beta) & M_{\tilde{\ell}_R}^2 + m_\ell^2 \end{pmatrix}$$

- le stau léger pourrait donc être le plus léger des sleptons, favorisant la désintégration des sparticules en stau (se désintégrant lui-même en tau)
- les états finals pourraient donc être saturés en taus dans certaines zones de l'espace des paramètres SUSY

- Conclusion :** les nombres d'événements attendus étant généralement faibles, se limiter aux modes leptoniques (~35%) est insuffisant.



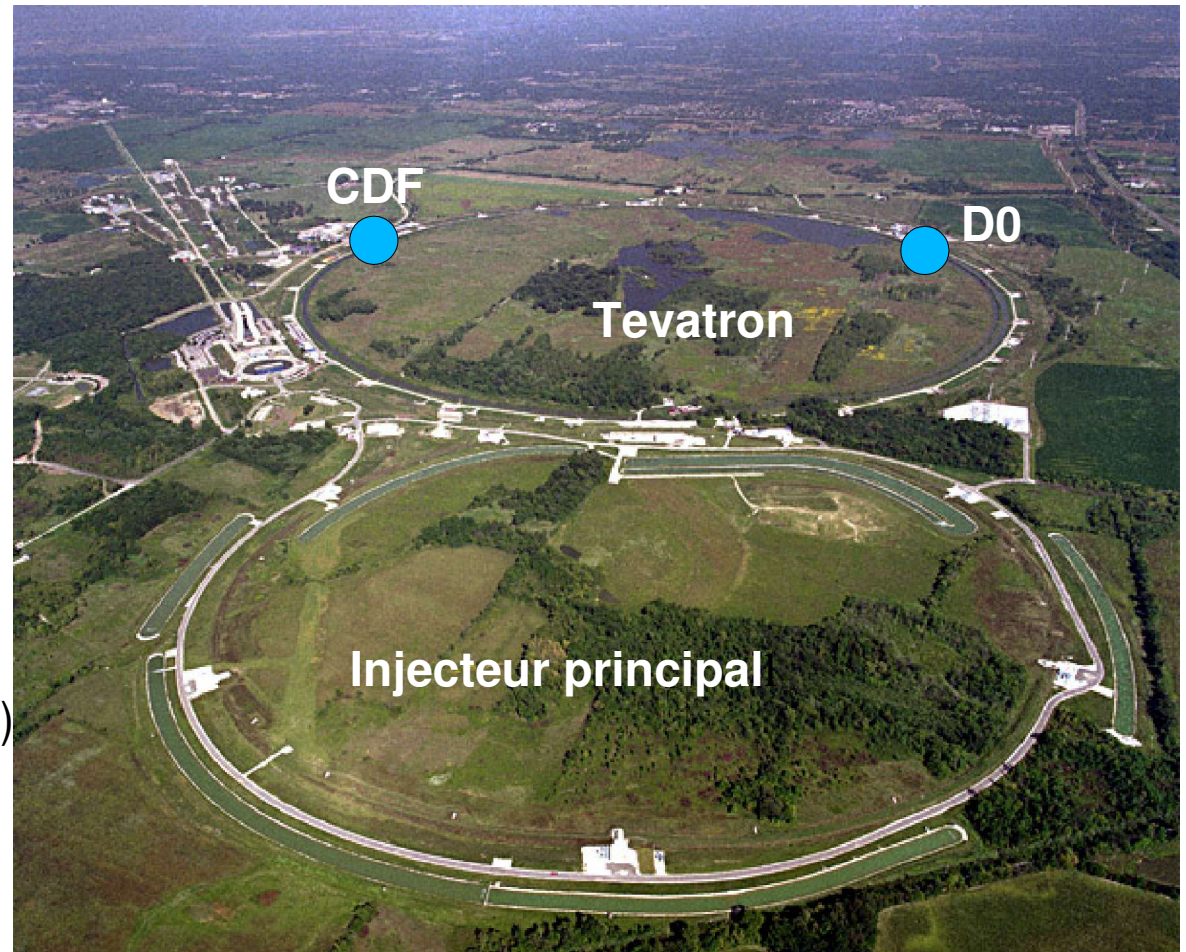
# PLAN DE L'EXPOSÉ

- motivations physiques
- **reconstruction et identification des taus**
- validation des algorithmes
- recherche de nouvelles particules
- remarques finales



# L'ACCELERATEUR TEVATRON

- Fermilab, près de Chicago
- collisions p-pbar,  $\sqrt{s} = 1,96 \text{ TeV}$ ,  $R \sim 1 \text{ km}$
- run I (91-95): résultat principal
  - mise en évidence du quark top
- run II (avril 2001-présent): buts
  - propriétés du quark top (single top !)
  - physique du B (oscillations  $B^0$ s !)
  - physique électrofaible (mesure de  $m(W)$  !)
  - recherche de nouvelle physique
- 2 expériences généralistes: CDF et D0

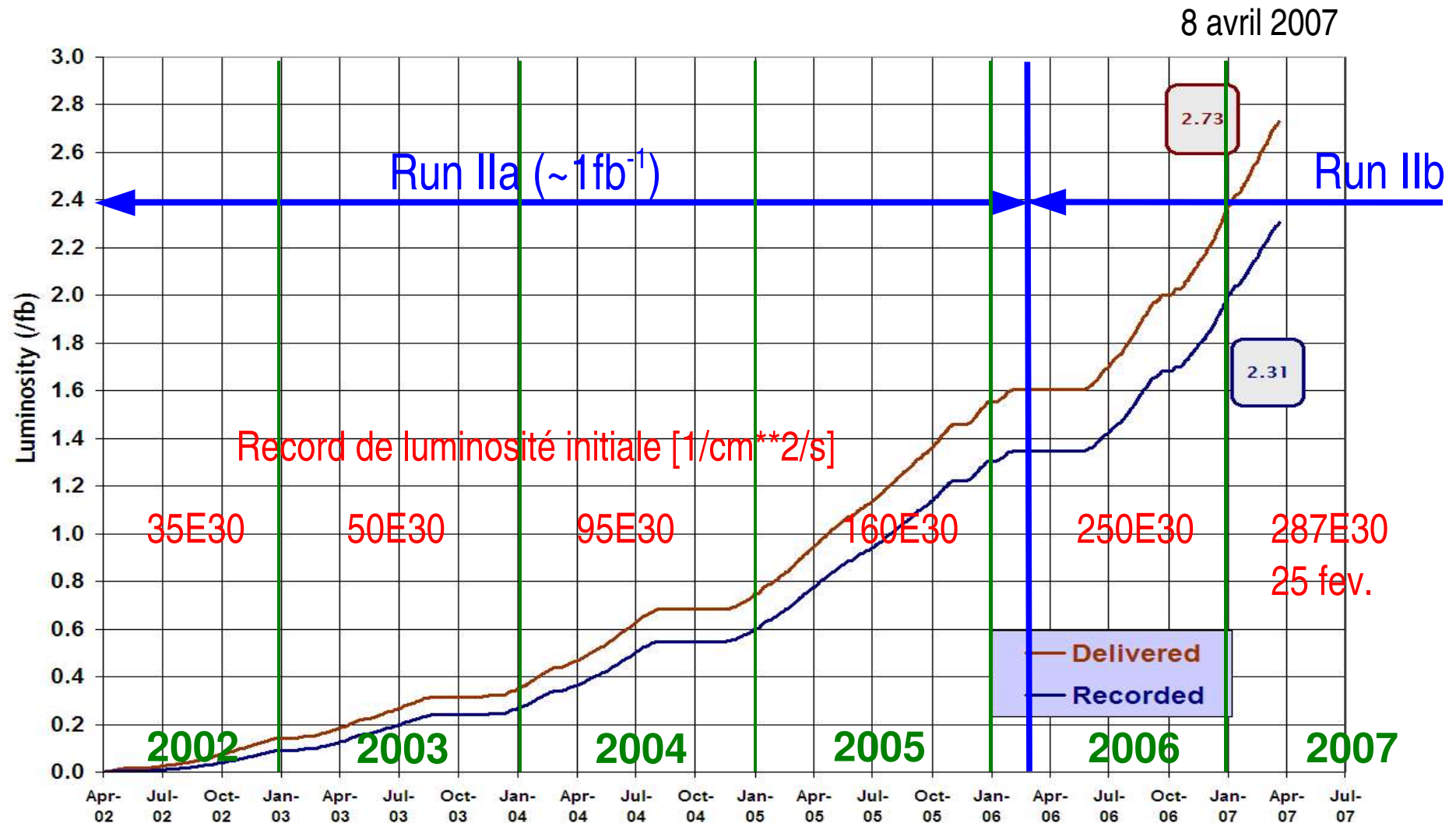


# ÉVOLUTION DE LA LUMINOSITÉ



## Run II Integrated Luminosity

19 April 2002 - 8 April 2007



- efficacité de la prise de données à D0 maintenant: > 85%
- ordres de grandeur pour le Run II a (D0):  $O(50k)$   $Z \rightarrow e\bar{e}$   $O(600k)$   $W \rightarrow e + \nu$ ; statistique x10 par rapport au Run I

# LE DETECTEUR D0

- détecteur de traces chargées + solénoïde (2T)

- détecteur au silicium

vertex déplacé

- détecteur de traces à fibres scintillantes

impulsion des traces

- calorimètres

- détecteur de pieds de gerbe (fibres scint.)

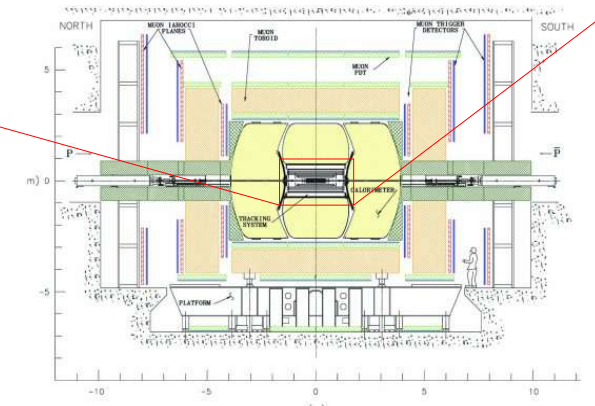
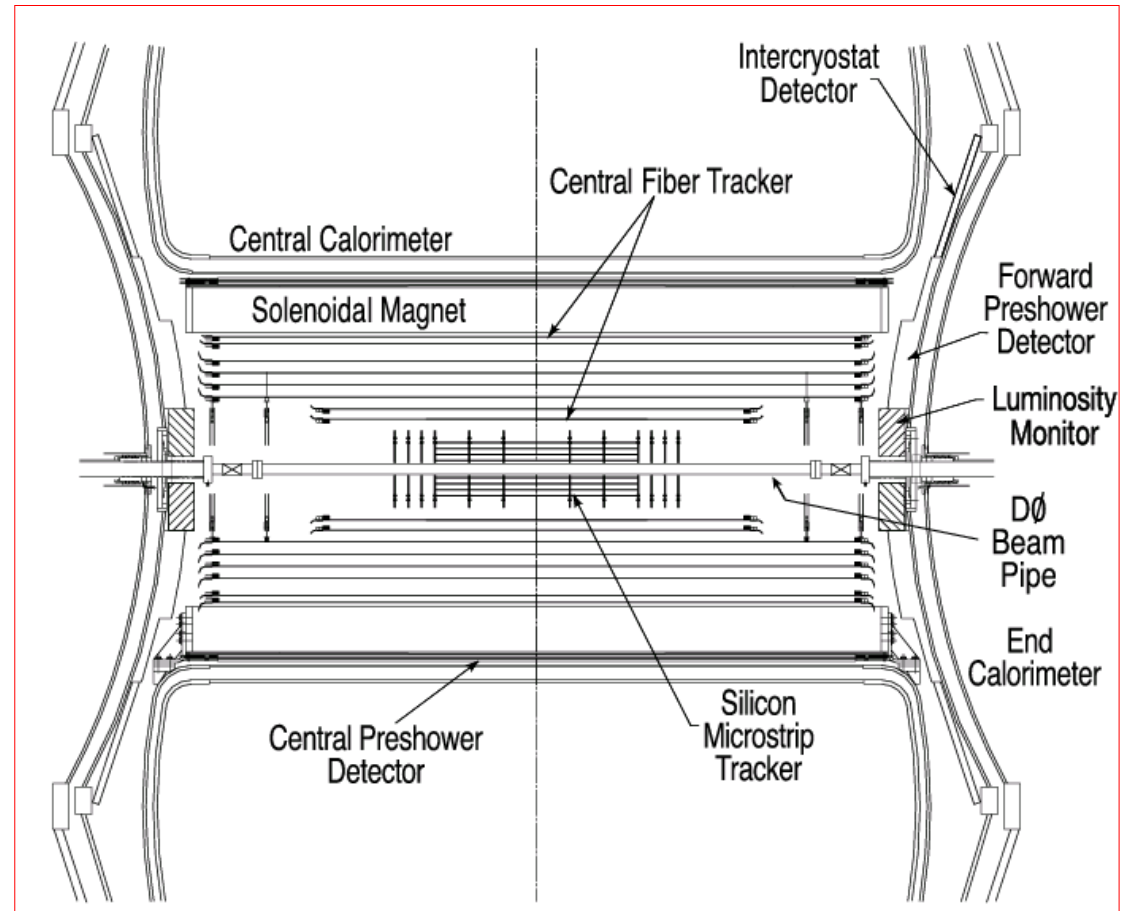
- calorimètre électromagnétique (LAr + U)

- calorimètre hadronique (LAr + U)

segmentation fine (résolution), excellente herméticité

- chambres à muons + toroïde (1.5T)

large couverture angulaire





# PERFORMANCES

- **résolutions en énergie:**

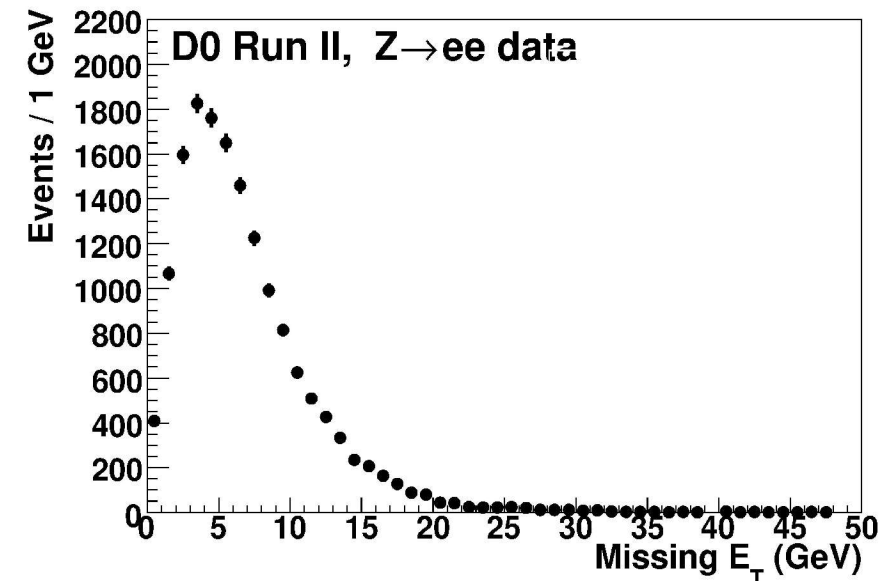
- EM energies:  $\sigma/E = 21\% / \sqrt{E} \oplus 2.0\%$  (électrons à une incidence normale)
- HAD energies:  $\sigma/E = 85\% / \sqrt{E} \oplus 5\%$  (jets à une incidence normale)
- contribution du terme de bruit à la résolution:  $\sim 300$  MeV pour  $Z \rightarrow ee$ , dominé par les événements sous-jacents

- **résolution en énergie transverse manquante (MET):**

- paramétrée en fonction de la somme scalaire de l'énergie transverse (SET)
- $\sigma = 41\% \sqrt{\text{SET}}$  dans des événements de biais minimum
- $Z \rightarrow ee$ : résolution dominée par la différence de réponse entre les électrons et l'amas calorimétrique de recul

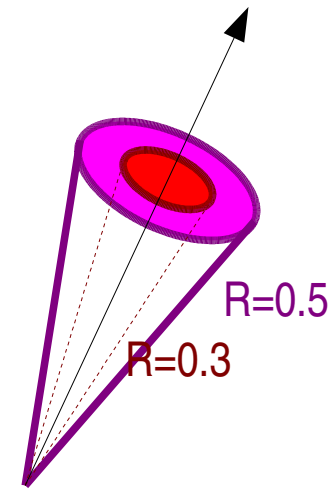
- **résolution sur l'impulsion transverse des traces:**

- $\sigma(1/p_T) = 0.00152 \oplus 0.279 / p_T$  ( $|\eta| < 1.62$ );  $\sim 7\%$  à 45 GeV
- $\sigma(1/p_T) = 0.00226 \oplus 0.479 / p_T$  ( $|\eta| > 1.62$ )



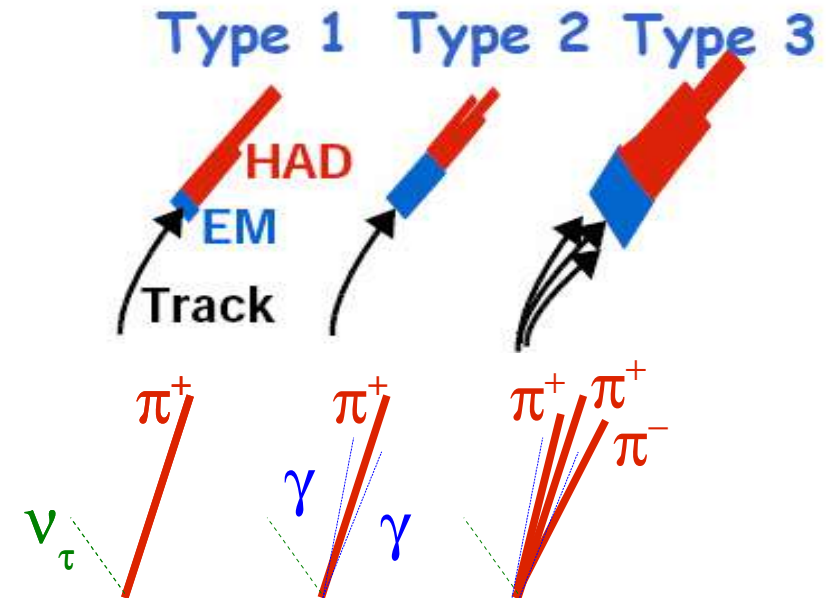
# RECONSTRUCTION DES TAUS HADRONIQUES

- localisation d'objets (amas calorimétrique et traces) qui pourraient être le signe de la désintégration hadronique d'un lepton tau pour le calcul ultérieure de variables d'identification
- différentiation avec des jets de quarks et de gluons:
  - multiplicité en traces plus faible
  - multiplicité en particules neutres plus faible
  - produits de désintégration plus collimés
- amas calorimétrique fin, isolé et associés à peu de traces:
  - calorimètre: cône contenant le coeur de la gerbe ( $R = \sqrt{\Delta\eta^2 + \Delta\phi^2} = 0.3$ ) et cône d'isolation  $R=0.5$
  - sous amas électromagnétique (caractéristique de la présence de  $\pi^0$ )
  - traces associées au tau (1,2 ou 3) de masse compatible avec  $m_\tau$



# CLASSIFICATION EXPERIMENTALE EN TYPES

- distinction des taus selon leur signature pour un meilleur traitement des bruits de fond propre à chacun

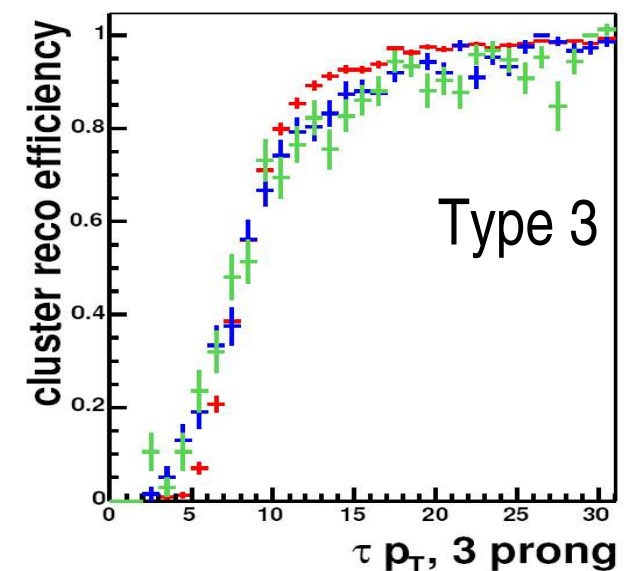
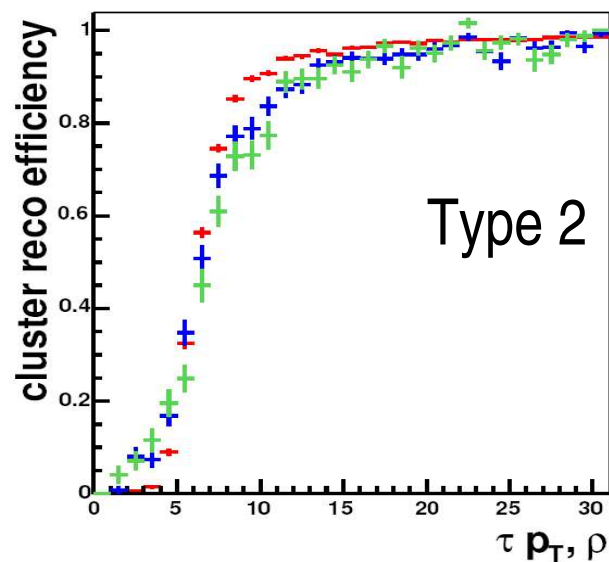
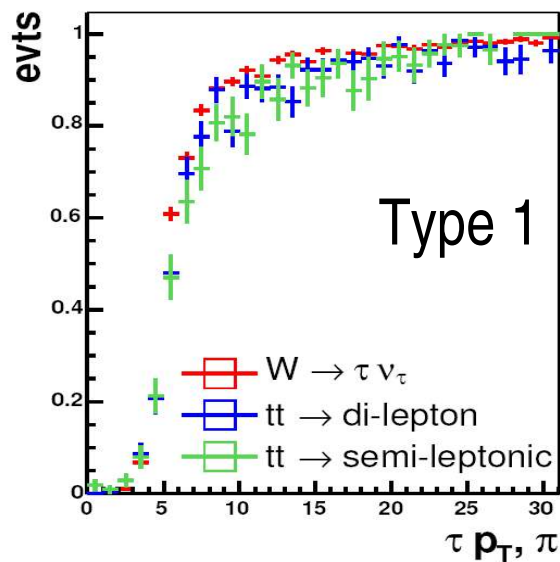


- chaque type est associé à un amas calorimétrique
  - tau de type 1:1** trace unique, sans amas électromagnétique
  - tau de type 2:1** trace unique, avec 1 (ou plusieurs) amas électromagnétiques
  - tau de type 3:** plusieurs traces, avec ou sans amas électromagnétique

# EFFICACITÉ DE RECONSTRUCTION

- **amas calorimétriques:**

- l'efficacité de reconstruction des amas calorimétriques des taus dépend peu du processus physique
- typiquement, dans les événements avec peu d'amas ( $W \rightarrow \tau \nu$  et  $Z \rightarrow \tau \tau$ ),  $\text{eff} > 90\%$  à  $E_T > 10 \text{ GeV}$

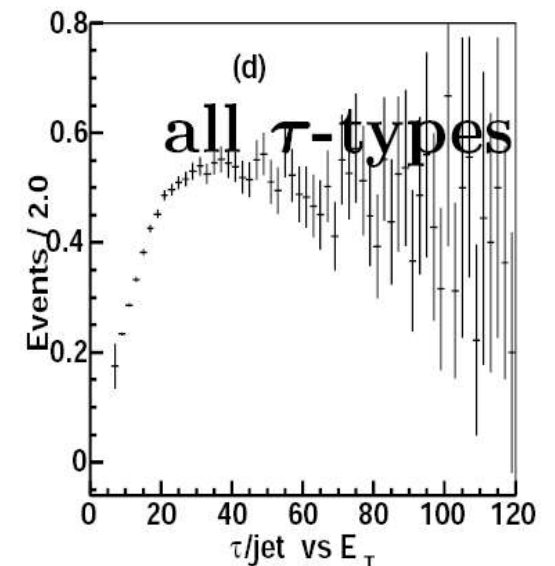
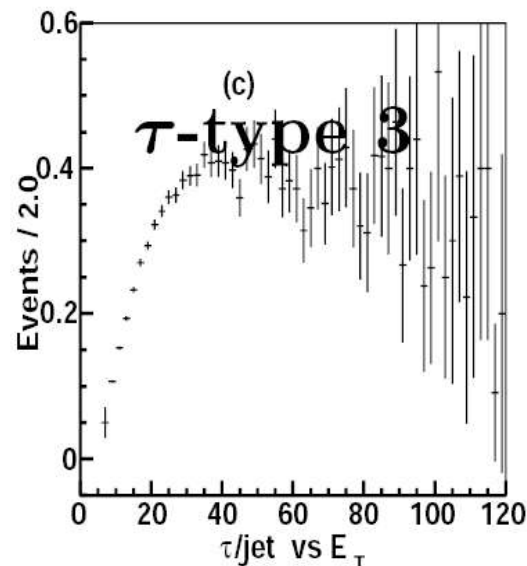
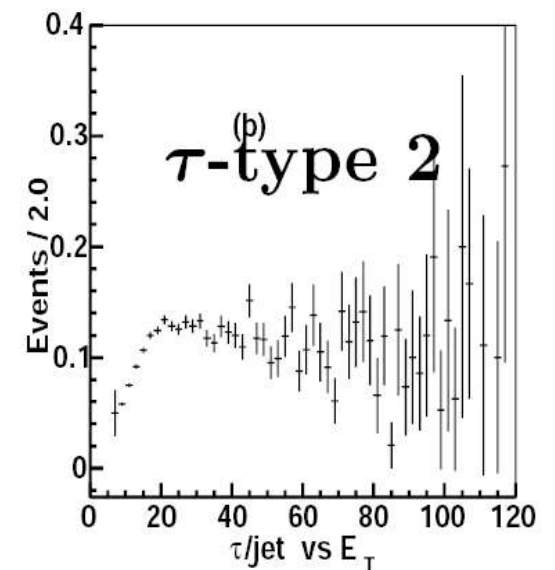
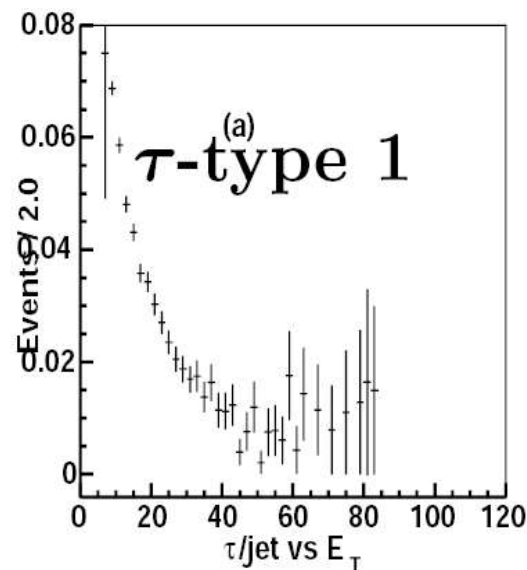


- **traces:**

- l'efficacité de reconstruction d'une trace est typiquement de 90% dans la partie centrale

# MAUVAISE RECONSTRUCTION DE JET EN TAU

- en moyenne : ~50% des jets de QCD mimiquent un tau
- ce taux dépend fortement du type de tau, de son  $p_T$  et de sa position dans le détecteur
- le plus grand taux de candidats tau provient des jets de quarks et de gluons qui mimiquent un tau





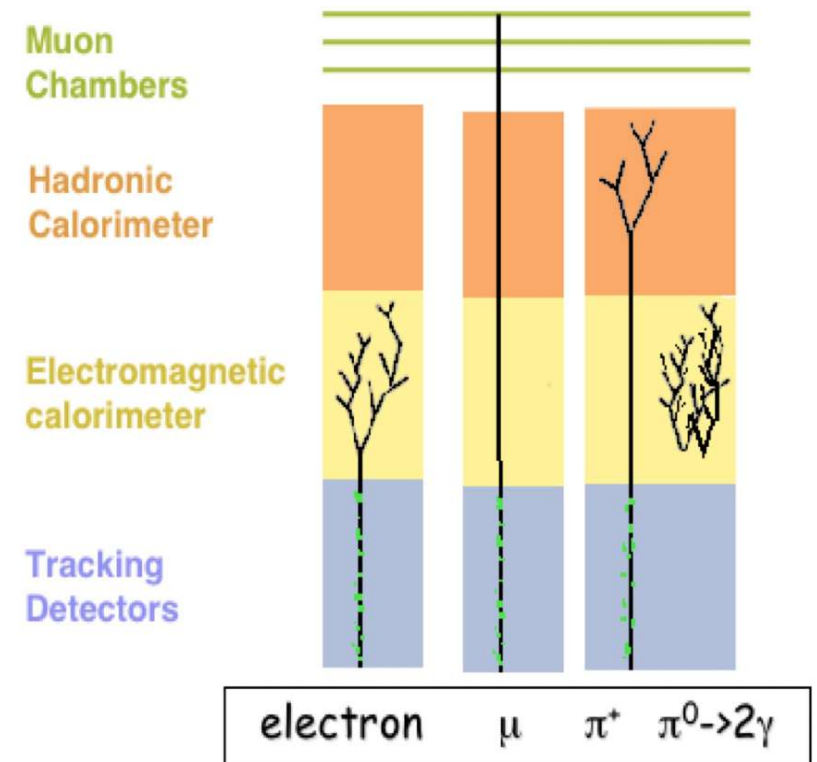
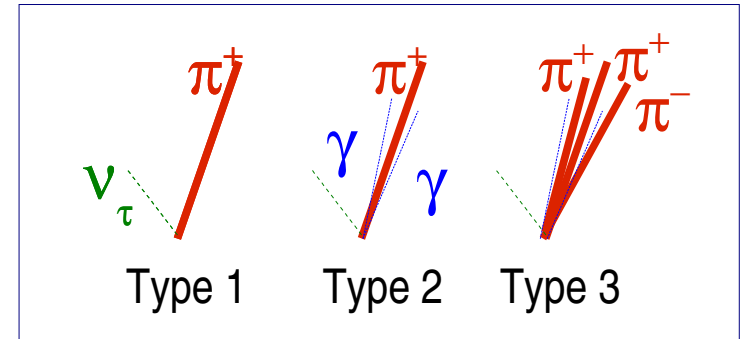
# BRUITS DE FOND ET STRATÉGIE DE RÉDUCTION

- **bruits de fond:**

- tau de type 1 : jets, électrons mal reconstruits, muons
- tau de type 2 : jets, électrons, muons
- tau de type 3 : jets, électrons de conversion

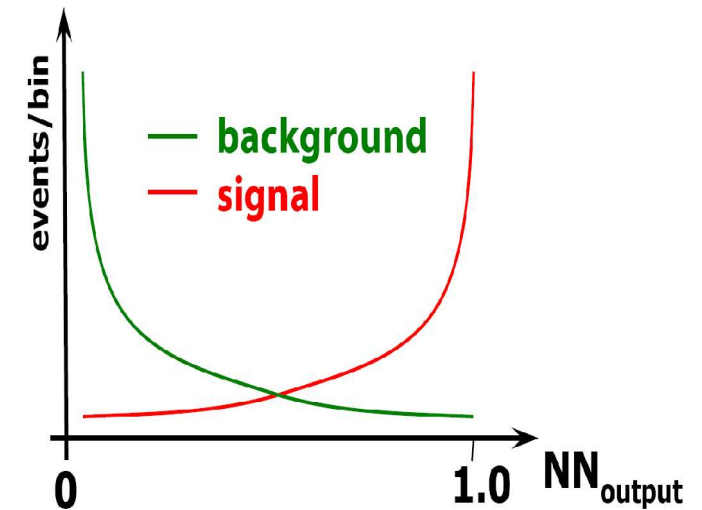
- **stratégie de réduction:**

- **jets:** utilisation des corrélations entre les variables par la mise en place de réseaux de neurones
- **électrons:** 1 réseau de neurones pour le type 2
- **muons:** utilisation des critères standards d'identification des muons (signal dans les chambres à muons, présence d'une trace dans le trajectographe); réjection spécifique (E/p) des  $\mu$  (rayonnement d'un  $\gamma$  énergétique – profondeur du calorimètre de D0)



# SÉPARATION TAU/JET

- 1 réseau de neurones par type (sortie NNjet -> 1 pour le signal)
- 3 classes de variables d'entrées:
  - isolation (calorimétrie et trajectographe)
  - forme des gerbes calorimétriques
  - corrélation entre les traces et les amas calorimétriques
- aucune exploitation de la corrélation entre l'énergie visible et invisible ( $\nu$ ) du  $\tau$  car elle diffère selon le processus physique (polarisation)
- réseaux de neurones entraînés avec:
  - signal: événements simulés (taus isolés et  $Z \rightarrow \tau\tau$  à haute masse)
  - bruit de fond: données de collisions muon non isolé dos-à-dos avec un candidat tau
- réseaux de neurones testés avec:
  - signal: événements simulés  $Z \rightarrow \tau\tau$  dans la fenêtre de masse du Z
  - bruit de fond: données de collisions paire de muon isolé et tau candidat de même signe



# EXEMPLE DE VARIABLES DE SÉPARATION TAU/JET

(a) *em12iso* : profile longitudinal de la gerbe dans le calorimètre électromagnétique

(b) *caliso* : fraction d'énergie contenue dans le cône d'isolation calorimétrique

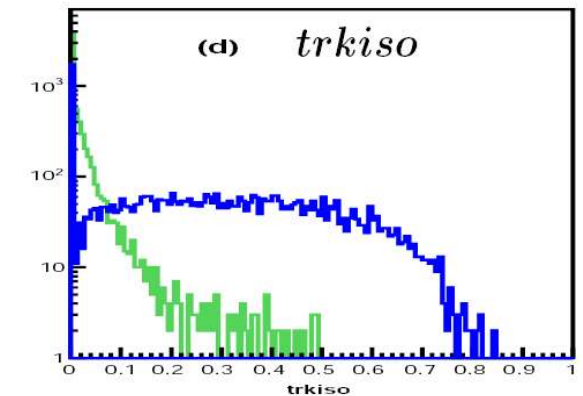
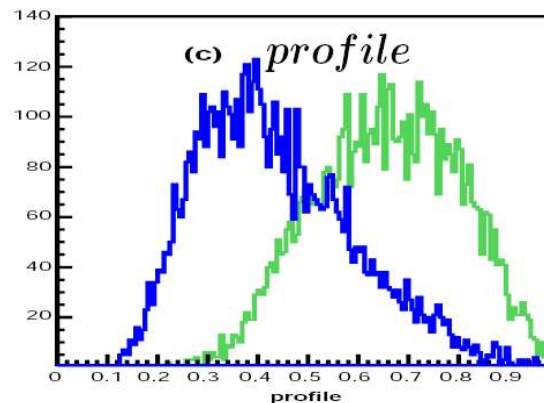
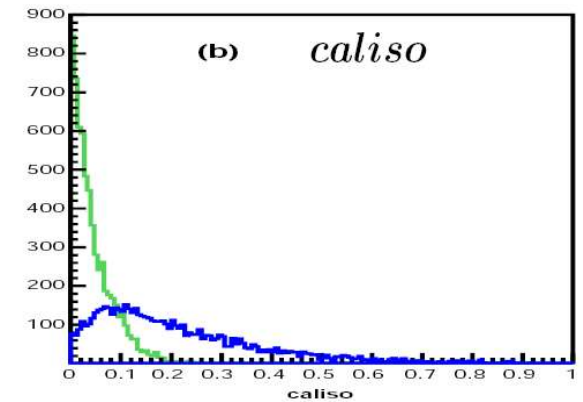
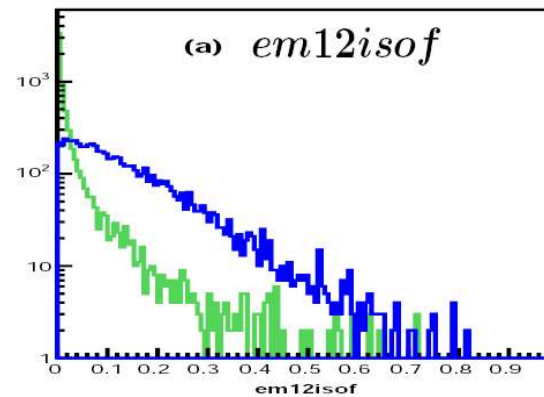
(c) *profile* : fraction d'énergie déposée dans les 2 tours les plus énergétiques

(d) *trkiso* : fraction des  $p_T$  des traces associées au tau par rapport à la somme des traces dans le cône d'isolation

- illustration pour les taus de type 1

— signal  
— bruit de fond

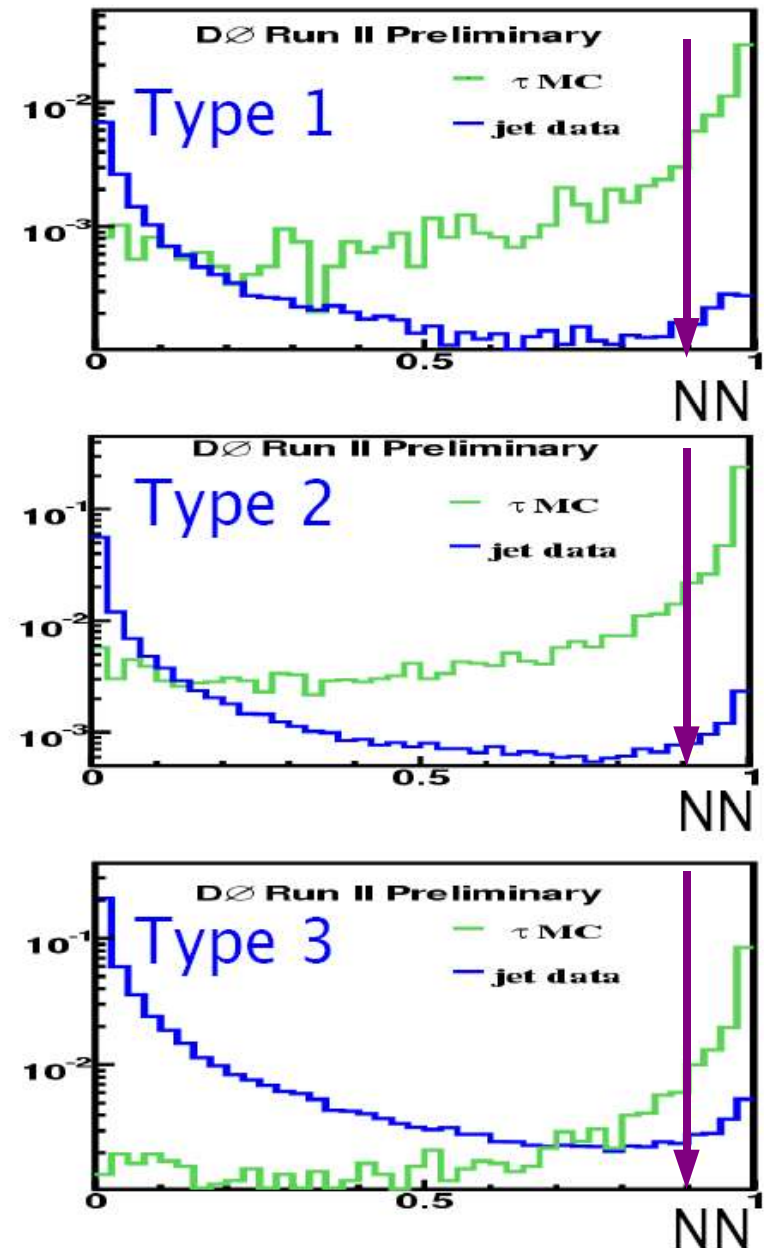
- aucune variable à elle seule ne permet de bien discriminer le signal du bruit de fond, mais les formes sont différentes



# PERFORMANCES DE LA SÉPARATION TAU/JET

- efficacité d'identification des candidats taus  
 $|\eta| < 2.5$  et  $E_T > 15$  GeV pour une coupure typique (0.9)  
sur les sorties neuronales

	Tau Type	1	2	3	$\Sigma$ type
	Reconstruction				
■	Jets	1.5	10	38	~50%
■	Taus	9.1	50	20	~80%
	NN > 0.9				
■	Jets	0.04	0.2	0.8	~1%
■	Taus	5.8	37	13	~55%

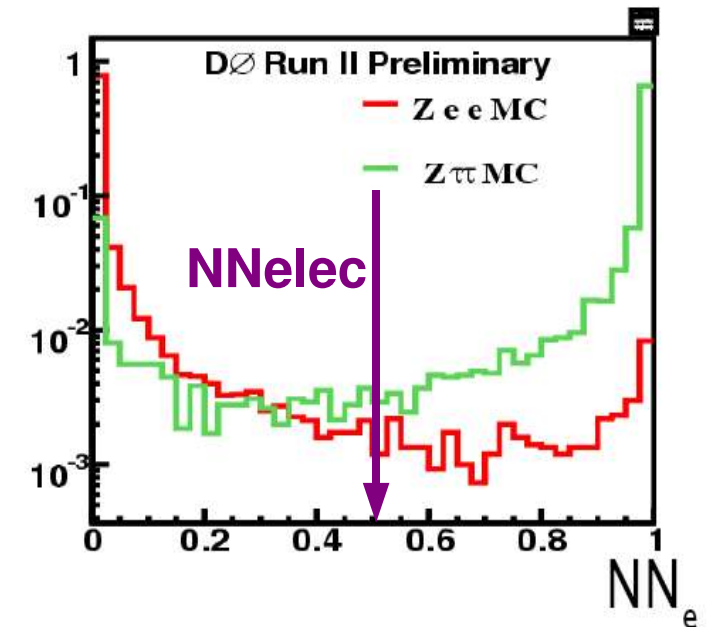
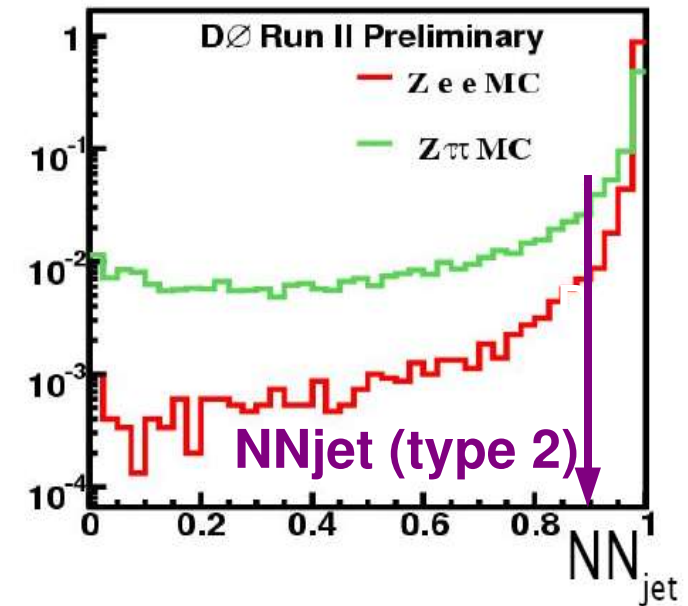


- la contribution du bruit de fond au type 3 est largement prépondérante

# SÉPARATION TAU/ELECTRON

- tous les électrons dans des zones bien instrumentées sont identifiées comme des taus de type 2
- mise en place d'un réseau de neurones spécifique qui discerne les électrons et les taus de type 2
- variables discriminantes: fraction d'énergie électromagnétique, comparaison de l'impulsion de la trace et de l'énergie du tau, ...
- entraîné sur du bruit de fond simulé ( $Z \rightarrow ee$ ) et testé sur des données de collisions ( $Z \rightarrow ee$ )
- efficacité d'identification des candidats taus  $|\eta| < 2.5$  et  $20 < E_T < 40$  GeV

	Efficiency (%)	
	$NN_{jet} > 0.9$	$NN_e > 0.5$
e	98	3.4
$\tau$	34	30



# CONCLUSION SUR LES PERFORMANCES

- l'identification des taus à D0 est performante
- les performances (efficacité et réjection) dépendent de la cinématique des taus
- à un point de fonctionnement standard :

Nature des particules	$\tau$	e	$\mu$	jets
Efficacité de sélection	~ 50%	~ 1%	< 1%	~ 1%
type 1 et 2 seuls	~ 35%	-	-	~ 0.2%

- elle reste toutefois environ 2 fois plus faible que celle des électrons et des muons isolés
- **un mot sur les triggers de taus:**
  - le sujet du déclenchement sur les taus n'a pas été abordé ici. Les analyses discutées dans la suite reposent sur un déclenchement sur d'autres objets dans l'état final.
  - D0 dispose de voies de déclenchement dédiées sur les désintégrations hadroniques du tau : ces voies utilisent toute la capacité du système : traces isolées associées à un amas calorimétrique au niveau 1, ... L'analyse de ces données n'est pas simple et elle est actuellement en cours.



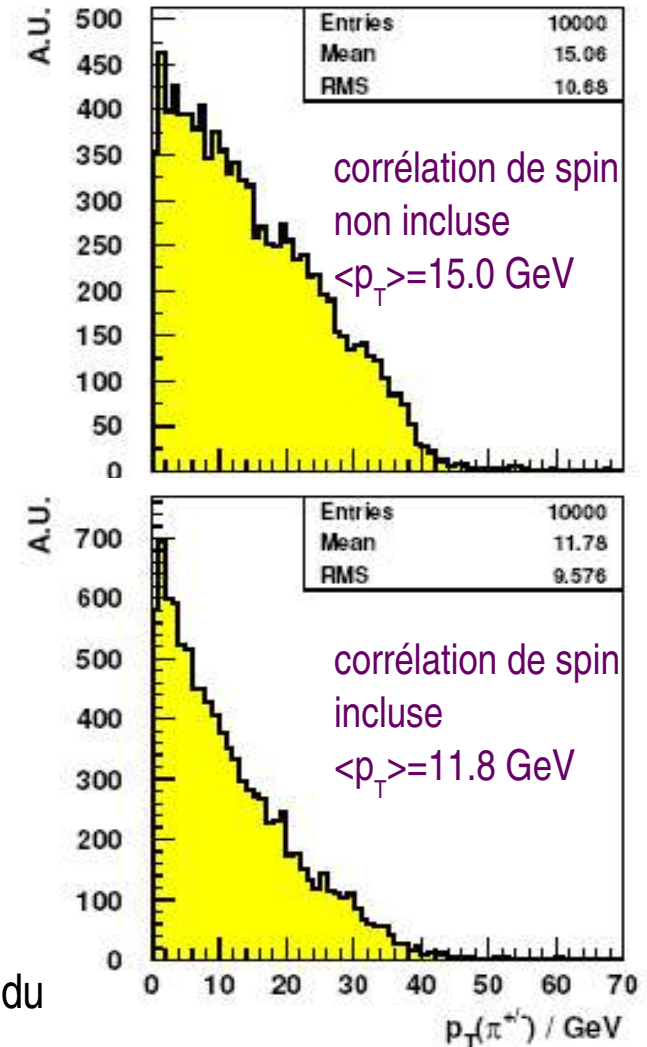
# UN MOT SUR LA SIMULATION

- une simulation précise des taus est nécessaire
- utilisation du programme spécialisé de désintégration des  $\tau$  TAUOLA (99.7% des voies de désintégrations couvertes, prend en compte les effets de spin)
- état de polarisation important car il modifie les distributions angulaires et le spectre en impulsion des produits de désintégrations du tau

Tau mother	Mother decay	Pol( $\tau^+$ )	Pol( $\tau^-$ )	Probability
Neutral vector bosons (Standard model)	$\gamma^*, Z^0 \rightarrow \tau^+ \tau^-$	-1	-1	0.5
		+1	+1	0.5
Neutral Higgs bosons	$h^0, H^0, A^0 \rightarrow \tau^+ \tau^-$	+1	-1	0.5
		-1	+1	0.5
Charged vector bosons	$W^\pm \rightarrow \tau^\pm \nu$	-1	-1	1.0
Charged Higgs bosons	$H^\pm \rightarrow \tau^\pm \nu$	+1	+1	1.0
Doubly charged Higgs bosons (L-R symmetric models)	$H_L^{++} \rightarrow \tau_L^+ \tau_L^+$	+1		1.0
	$H_L^{--} \rightarrow \tau_L^- \tau_L^-$		-1	1.0
	$H_R^{++} \rightarrow \tau_R^+ \tau_R^+$	-1		1.0
	$H_R^{--} \rightarrow \tau_R^- \tau_R^-$		+1	1.0

- effet particulièrement important pour une simulation réaliste des bruits de fond du Modèle Standard (spectre en énergie tombe au seuil de reconstruction)

$$W^{+/-} \rightarrow \tau^{+/-} (\pi^{+/-} \nu) + \nu$$



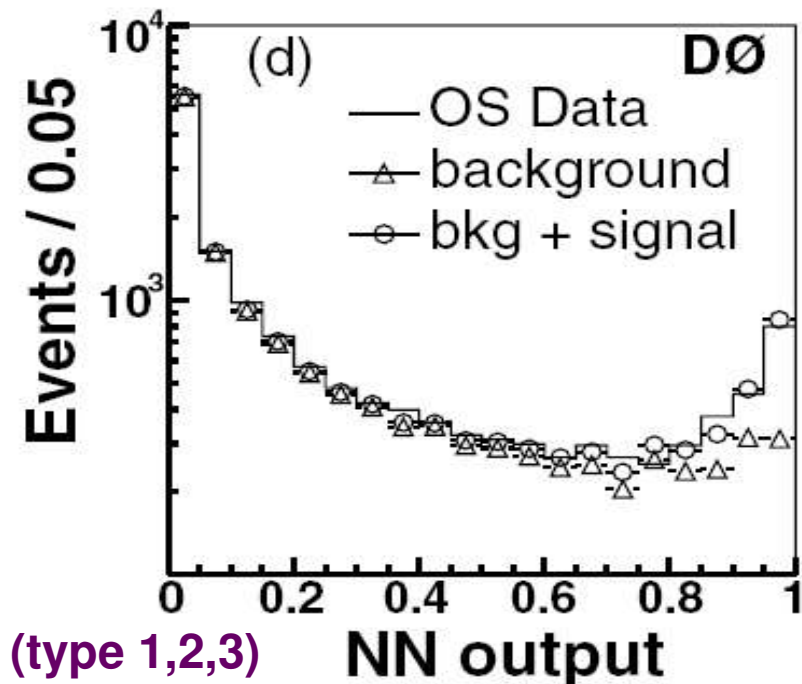
# PLAN DE L'EXPOSÉ

- motivations physiques
- reconstruction et identification des taus
- **validation des algorithmes**
- recherche de nouvelles particules
- remarques finales

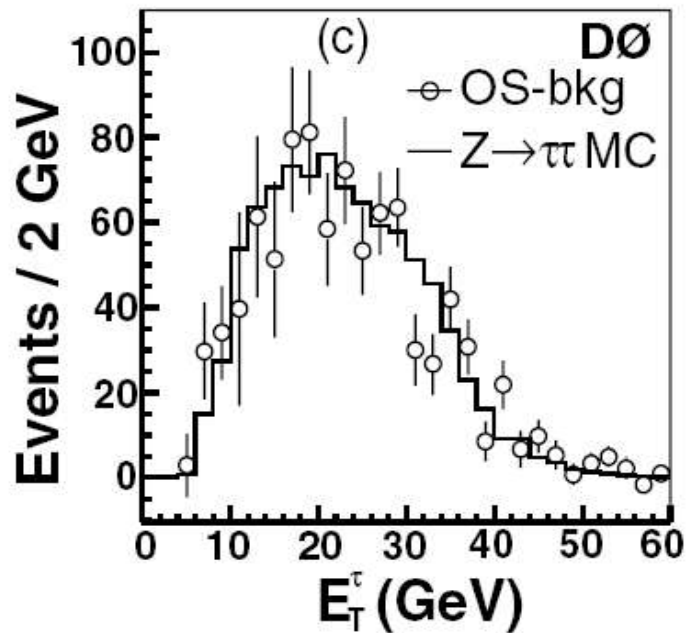


# MESURE DE LA SECTION EFFICACE $Z \rightarrow \tau_\mu \tau_{(e,h)}$

- la mesure de la section efficace  $Z \rightarrow \tau\tau$  de D0 est la première sur des collisionneurs p-p(bar)
- cette analyse a été la première de D0 à utiliser des taus comme signature [[PRD 71, 072004 \(2005\)](#)],  $\text{Lint}=226 \text{ pb}^{-1}$
- elle est prise comme point de référence pour la recherche de nouvelles particules signée avec des taus
- déclenchement:** 1 muon isolé
- présélection:** 1 muon isolé et 1 candidat tau énergétiques, isolés et dos-à-dos (29k événements)
  - dominés par QCD (bb) et  $W \rightarrow \mu + \text{jets}$
  - séparés en ensemble de  $\tau\mu$  de signe opposés (OS)  
et de même signe (SS) pour estimer le fond multijets
- très bon accord entre les données et le bruit de fond prédit dans les distributions des sorties neuronales



# MESURE DE LA SECTION EFFICACE $Z \rightarrow \tau_\mu \tau_{(e,h)}$



- **sélection** :  $NN_{jet} > 0.8$
- distribution de données avec soustraction du bruit de fond prédit: très bon accord avec la distribution du signal simulé

- efficacité de sélection totale  $Z \rightarrow \tau\tau$ : 1.52% ( $M_{\tau\tau} > 60$  GeV, type 2 prédomine)
- nombre d'événements prédits: 2030 (980 QCD, 910  $Z \rightarrow \tau\tau$ )
- nombre d'événements sélectionnés: 2010 (OS)
- $\sigma(Z/\gamma^* \rightarrow \tau\tau) = 252 \pm 16$  (stat)  $\pm 19$  (syst)  $\pm 16$  (lum) pb
- $\sigma(Z/\gamma^* \rightarrow ee) = 264.9 \pm 3.9$  (stat)  $\pm 8.5$  (syst)  $\pm 5.1$  (pdf)  $\pm 17.2$  (lum) pb [ $177.3 \text{ pb}^{-1}$ ]

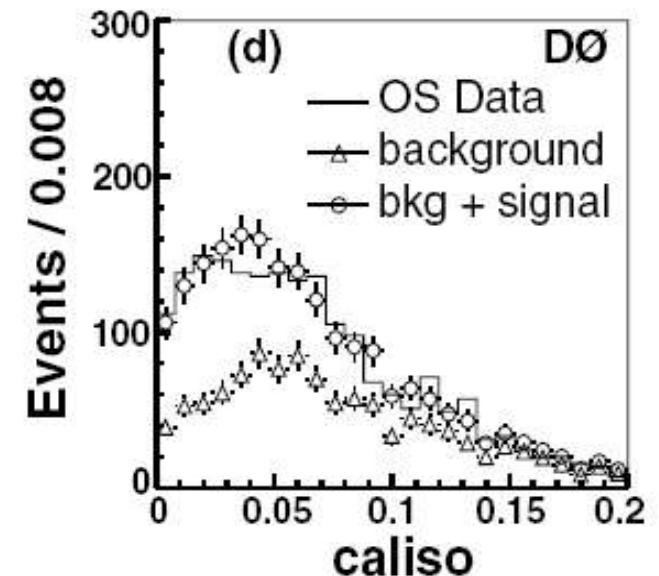
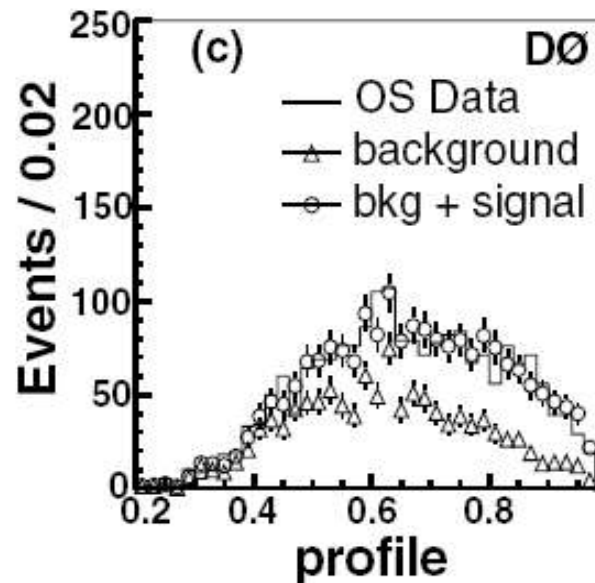
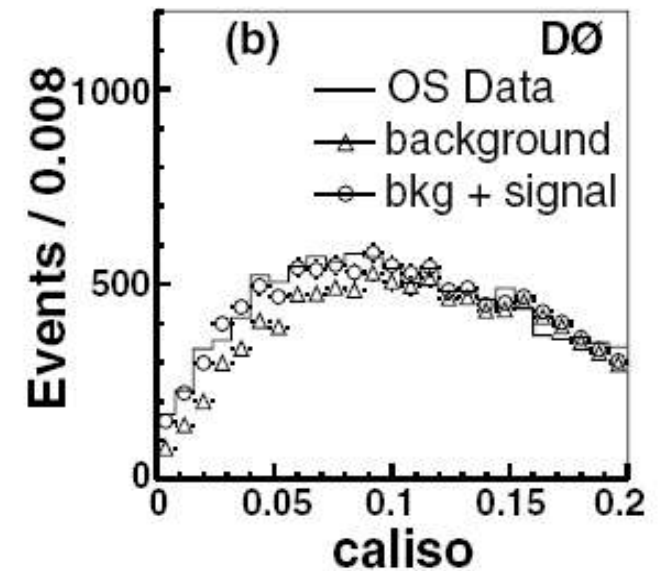
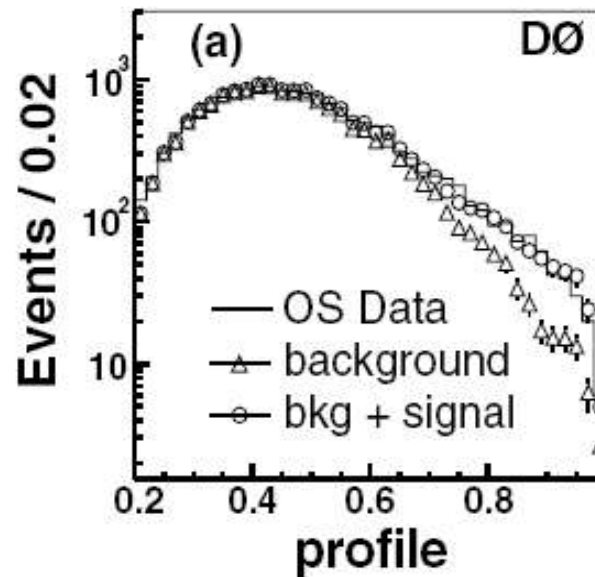
# ESTIMATION DES ERREURS SYSTÉMATIQUES

- **échelle en énergie:** différence en acceptance obtenue par la variation de la différence données/simulation dans des événements Z+jet
- **performances des réseaux de neurones:** création d'ensemble de données de simulation ou les variables d'entrées des NN fluctuent de la valeur de la différence entre les distributions simulées et celles obtenues par soustraction de fond (bon accord)
- **QCD:** incertitude sur la méthode (un jeu de données avec un muon non isolé)
- **Z et W (en  $\mu$ ):** incertitude statistique sur la méthode
- **$\epsilon(\text{data})/\epsilon(\text{MC})$ :** dominé par la différence data/simulation dans l'estimation de l'efficacité de reconstruction de traces non isolées; estimée en comparant les rapports en 2 ou 3 traces du tau de type 3 dans les jeux de données avec soustraction de bruit de fond et le Z- $\rightarrow\tau\tau$  simulé
- **déclenchement:** estimé en utilisant un jeu de données Z- $\rightarrow\mu\mu$
- **luminosité:** 6.5%

Energy scale	2.5%
NN	2.6%
QCD background	3.5%
$Z/\gamma^* \rightarrow \mu\mu$ background	2%
$W \rightarrow \mu\nu$ background	2.3%
$Z/\gamma^* \rightarrow \tau\tau$ MC	1.5%
PDF <sup>a</sup>	1.7%
$\epsilon_{\text{data}}/\epsilon_{\text{MC}}^b$	2.1%
Trigger	3.5%
Total	7.5%

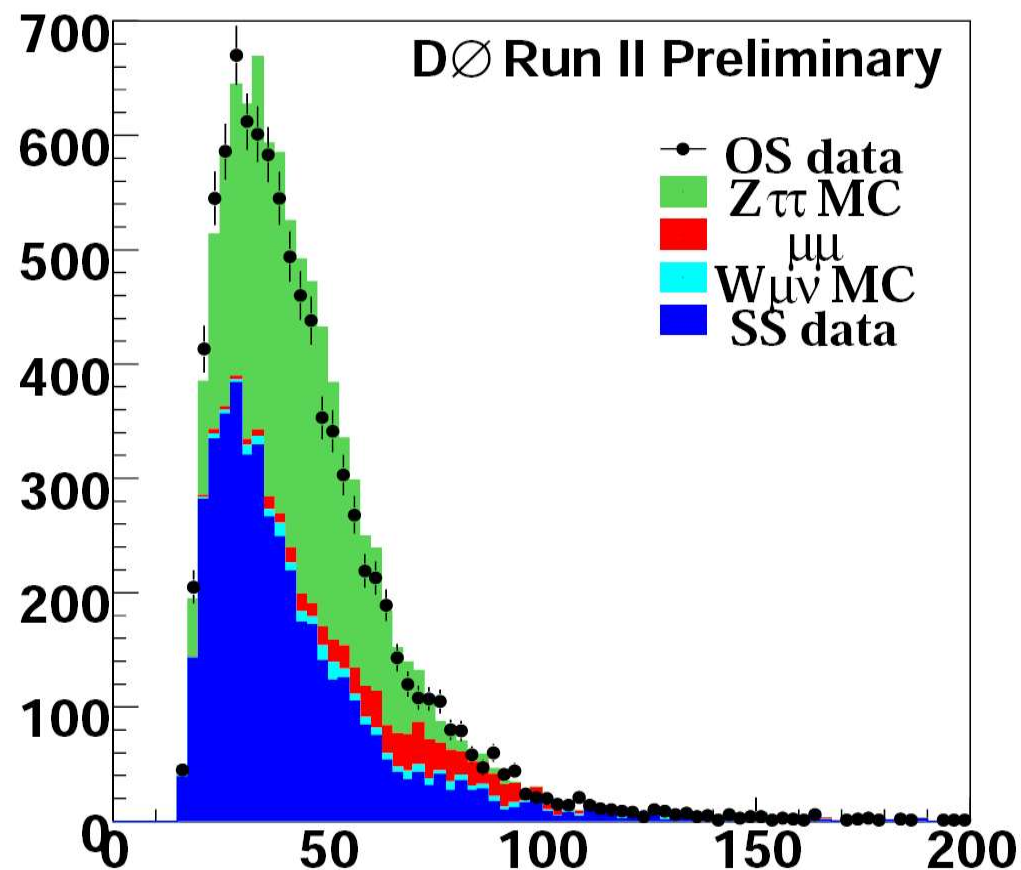
# DISTRIBUTION DE VARIABLES SPÉCIFIQUES

- forme de gerbe (profile) et isolation calorimétrique (caliso) avant et après la coupure sur les sorties neuronales ( $NN_{jet} > 0.8$ )
- très bon accord entre les données et la simulation



# CONTROLE AVEC $L_{int}=630 \text{ pb}^{-1}$

- sélection des événements similaires
- ~5000 événements  $Z \rightarrow \tau\tau$  dans les données (bruit de fond soustrait)
- statistique suffisante pour voir des biais fins dans les distributions

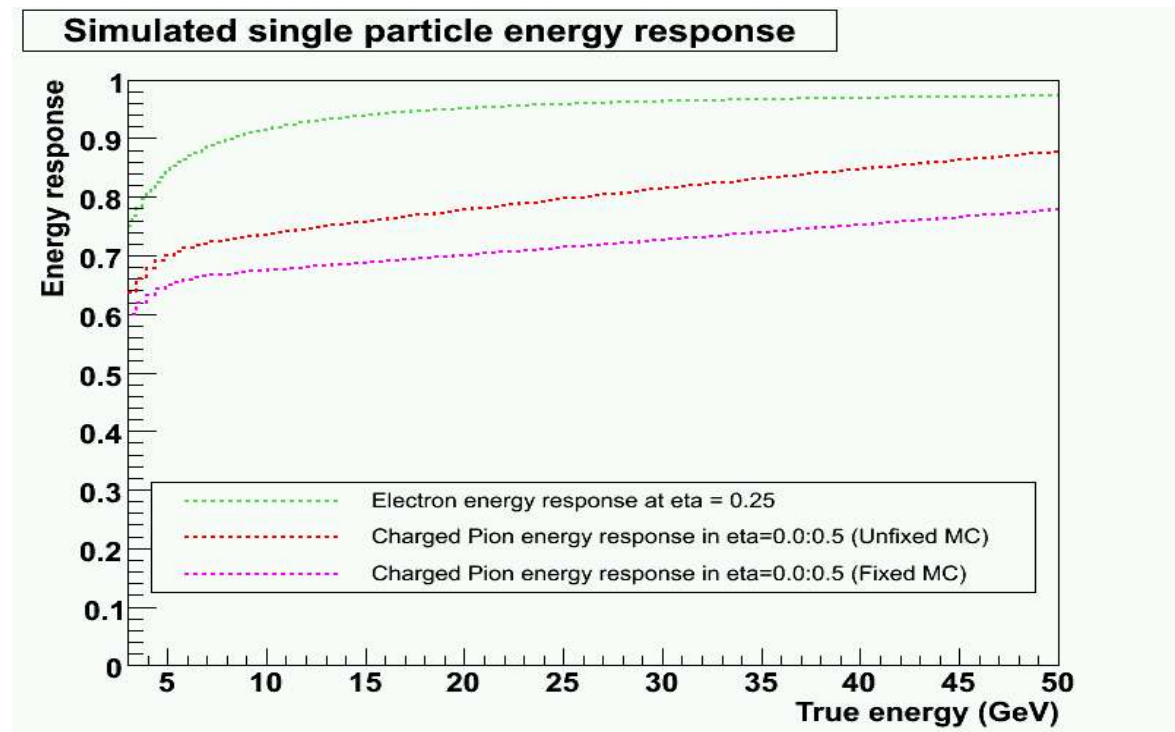


masse invariante du muon et de la trace  
associée au tau pour les types 1 et 2 sommés

# CORRECTION DE L'ÉNERGIE VISIBLE DES TAUS

- les taus se désintègrent en  $\pi^+$  isolés ( $\sim 20\%$ ) et en  $\pi^+$  accompagnés de  $\pi^0$  ( $\sim 40\%$ )
- au Run II du Tevatron, le calorimètre de D0 n'est pas compensé: les  $\pi^0$  ont une réponse plus élevée que celle des  $\pi^+$ ; toutes les 2 dépendent de l'énergie et sont typiquement loin de l'unité
- les produits de désintégration du tau sont très collimés et le  $\pi^+$  dépose une partie de son énergie dans le calorimètre électromagnétique: la mesure de l'énergie du candidat tau doit donc être corrigée de ces effets

réponses moyennes des électrons  
et des pions chargés isolés, mesurées  
avec des événements simulés





# MÉTHODE DE CORRECTION PARTICULE PAR PARTICULE

- **particules chargées :**

- à basse impulsion :  $\sigma(p) < \sigma(E)$
- $E(\pi^+)$  égalisée à son impulsion

$$E(\pi^+) = p(\text{trk})$$

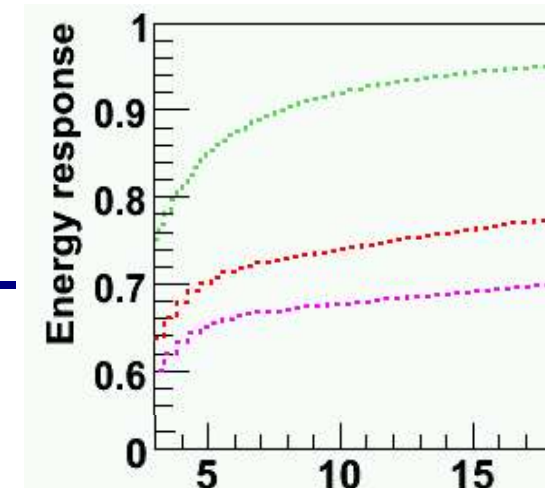
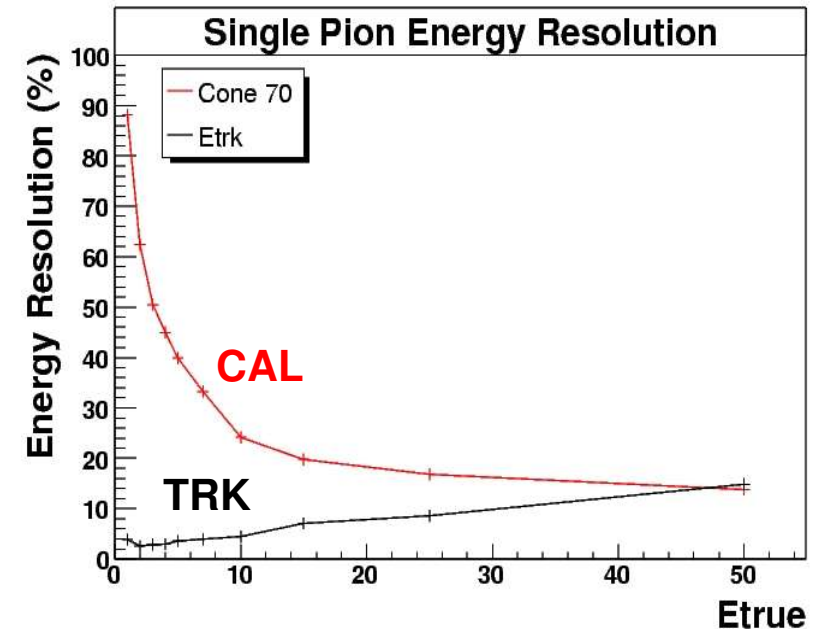
- **particules neutres :**

- $E(\pi^0)$  : énergie du tau auquel est soustrait la contribution du  $\pi^+$  (les traces associées) déterminée avec la courbe de réponse moyenne des  $\pi^+$

$$E(\pi^0) = E(\tau) - \sum_i r * p(\text{trk}_i)$$

- **correction finale :**

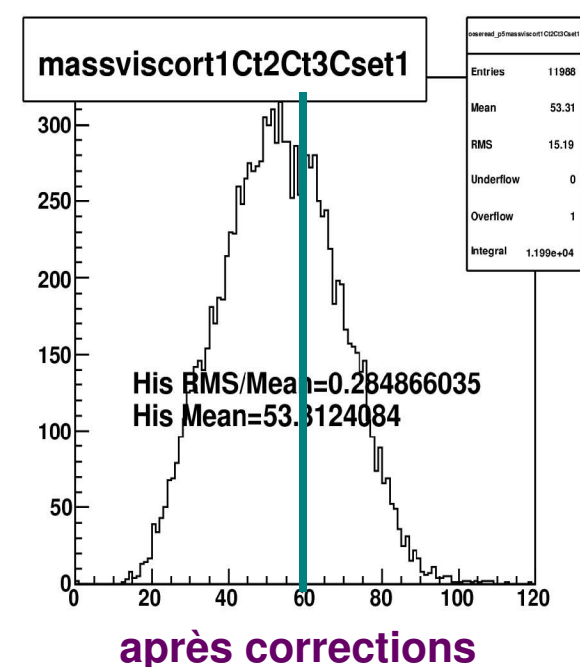
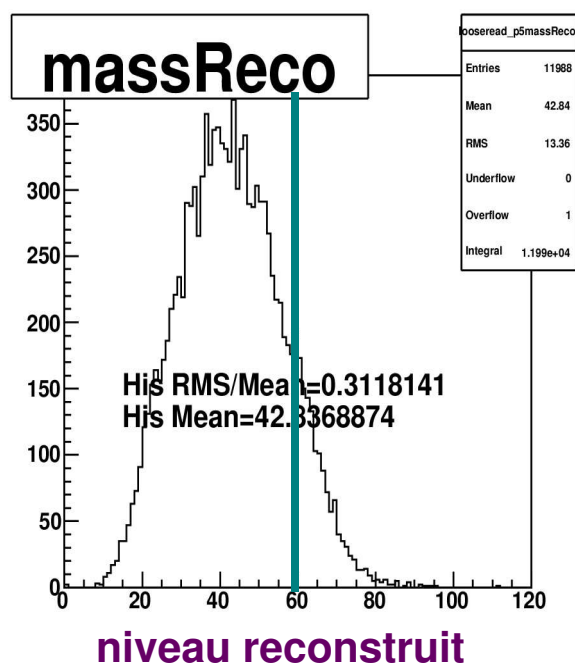
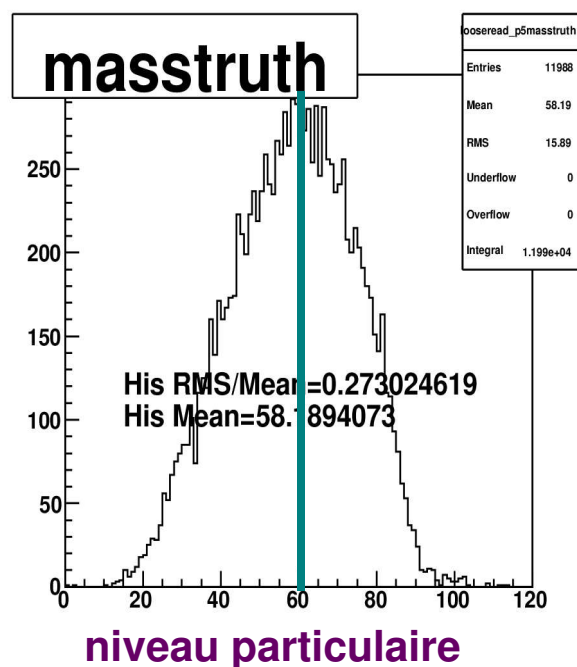
$$E(\tau^+) = \sum E(\pi^+) + E(\pi^0)$$



Agrandi des courbes de réponses

# RÉSULTAT DES CORRECTIONS

- méthode étudiée sur des événements simulés  $Z \rightarrow \tau\tau \rightarrow hh$
- masse visible ditau (effet au carré)



- $\sigma(M_{vis})$  et énergie absolue restaurées



# BÉNÉFICES DE LA MÉTHODE

- correction événement par événement, tau par tau, particule par particule
  - comparé à l'amas calorimétrique seul, cette méthode simple améliore la résolution en énergie des taus de basse énergie d'un facteur 2-3 et de ~30% à l'énergie du Z
- cette méthode repose sur la connaissance de la réponse des pions chargés isolés:
  - celle-ci peut provenir d'une simulation ajustée sur les données de collisions
  - ou bien directement des données (travail en cours)
- les données de collisions peuvent donc être corrigées de la même façon (actuellement à l'étude dans D0)

# PLAN DE L'EXPOSÉ

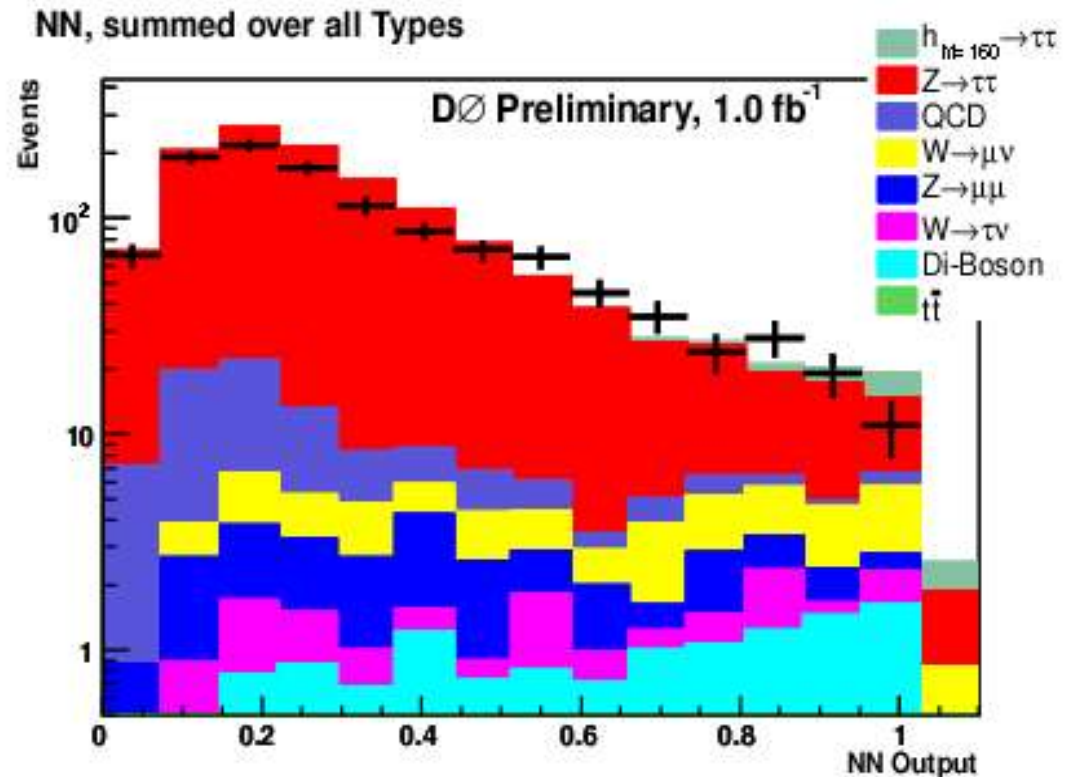
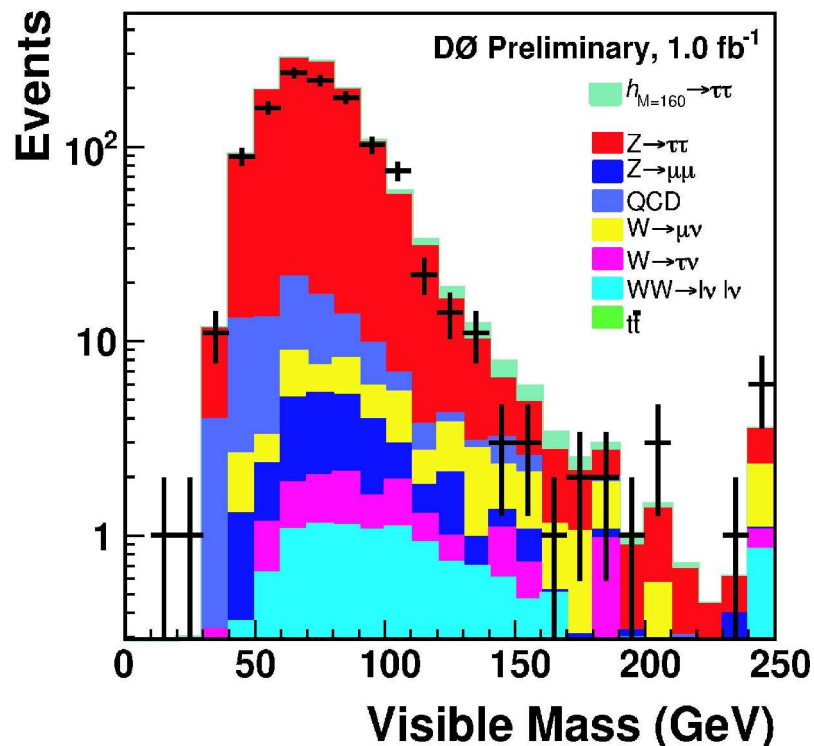
- motivations physiques
- reconstruction et identification des taus
- validation des algorithmes
- **recherche de nouvelles particules**
- remarques finales

# RECHERCHE DES BOSONS DE HIGGS NEUTRES

- **modèle supersymétrique minimal:**
  - prédictions de 5 bosons de Higgs dont 3 neutres
  - à l'ordre de l'arbre, le secteur de Higgs est défini par 2 paramètres ( $m_A$  et  $\tan\beta$ )
  - augmentation des couplages aux fermions bas (tau et b) par rapport au MS ( $\tan\beta$ )
  - les sections efficaces de production varient comme  $\tan\beta^{**2}$  (A/h/H sont produits simultanément)
- **cette analyse:**
  - état final:  $h/H/A \rightarrow \tau_\mu \tau_{(e,h)}$
  - déclenchement: muon
  - luminosité intégrée  $\sim 1\text{fb}^{-1}$
- **présélection:** 1  $\mu$  isolé et 1 tau reconstruit, énergétiques, séparés spatialement, de charges opposées
- **W $\rightarrow\mu\nu$ :** forme provient du MC, normalisation provient des données (dans une zone enrichie en W)
- **QCD:** forme et normalisation proviennent de deux lots enrichis en QCD (  $\mu$  non isolé et NNjet  $<0.8$ )

# RECHERCHE DES BOSONS DE HIGGS NEUTRES

- **sélection:** candidat tau ( $NN_{jet} > 0.9, 0.9, 0.95$  pour les types 1, 2 et 3; mu veto) et  $m(\mu, \nu) < 20$  GeV
- **événements sélectionnés:** 1144 (~1300 prédits dont 1163  $Z \rightarrow \tau\tau$ )
- **séparation optimale:** construction d'un réseau de neurone (masse visible  $\mu$ - $\tau$ -MET, cinématiques des objets) entraîné pour différentes masses de boson de Higgs (90-200 GeV/c<sup>2</sup>)



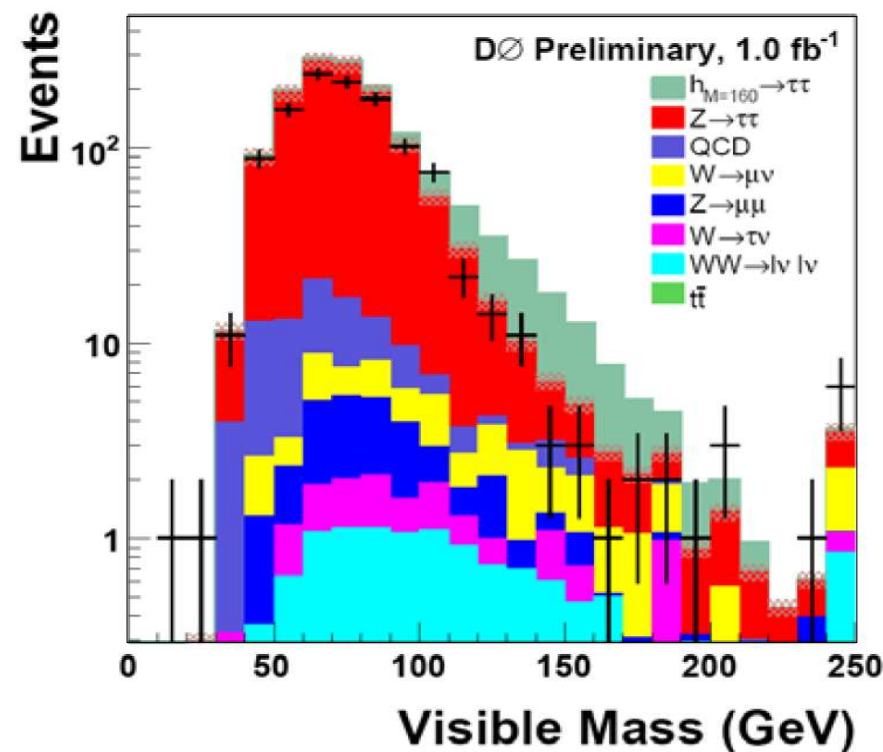
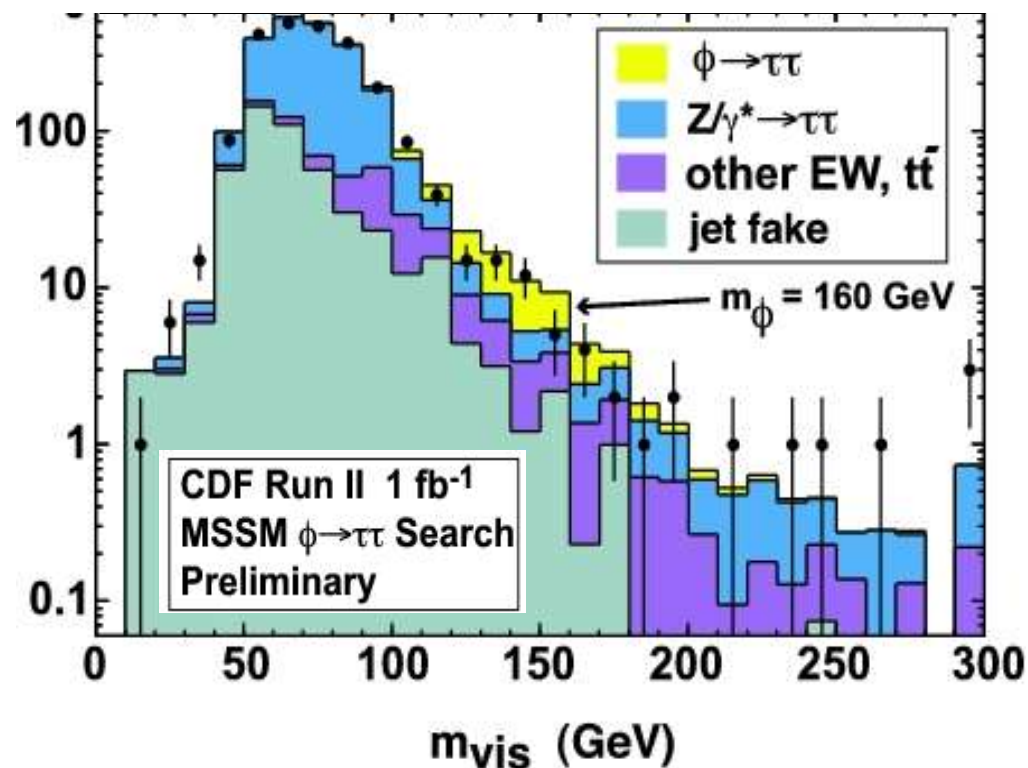
# CLIN D'OEIL



états finals :  $e+h$ ,  $\mu+h$ , et  $e+\mu$   
significance  $< 2 \sigma$



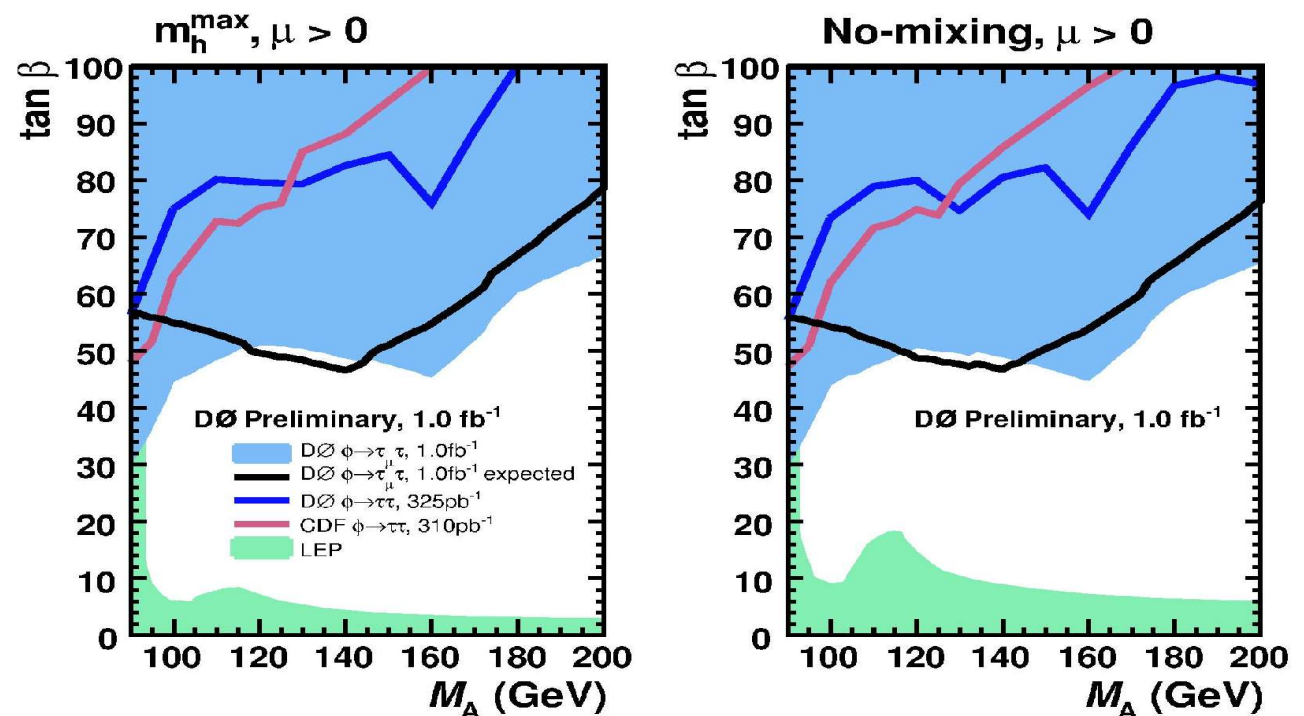
états finals :  $\mu+h(e)$



# RECHERCHE DES BOSONS DE HIGGS NEUTRES

- pas de signal observé, dérivation de limite (utilisation de la sortie du réseau de neurone pour séparer les bosons de Higgs des Z), chaque type de tau est considéré comme un canal individuel

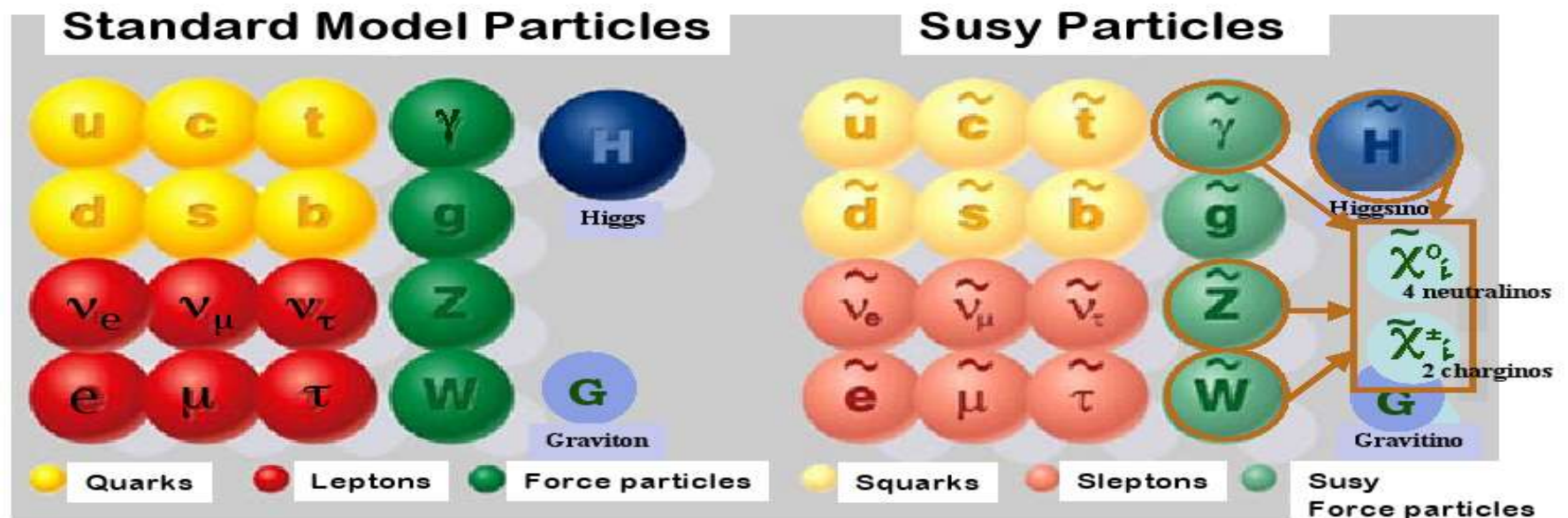
- limites similaires dans le cas de  $\mu < 0$
- exclusion de  $\tan\beta$  40-60 dans la zone de masse 90-200 GeV
- meilleures limites actuelles dans le canal  $\text{higgs} \rightarrow \tau\tau$





# SUPERSYMÉTRIE

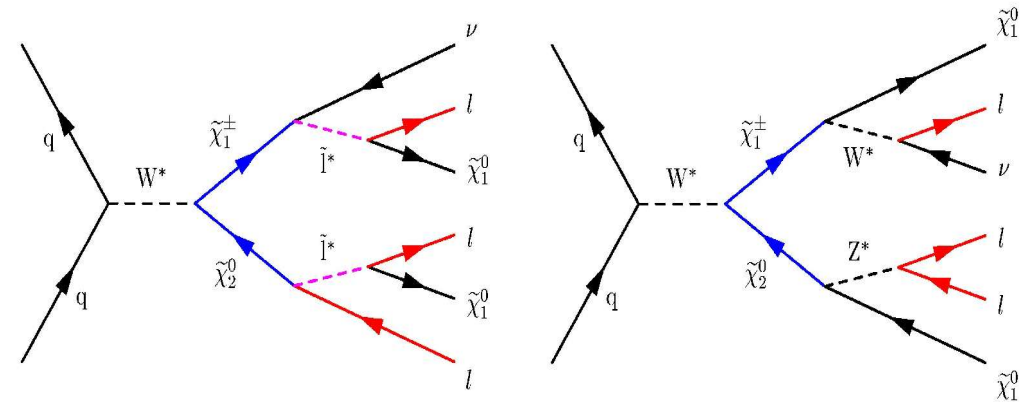
- nouvelle symétrie bosons  $\longleftrightarrow$  fermions
- conservation de tous les nombres quantiques autre que le spin
- spectre de particule étendu :



- MSSM avec conservation de la R-parité :
  - les particules SUSY sont produites par paires
  - elles se désintègrent en particules du MS et la LSP (non détectée)

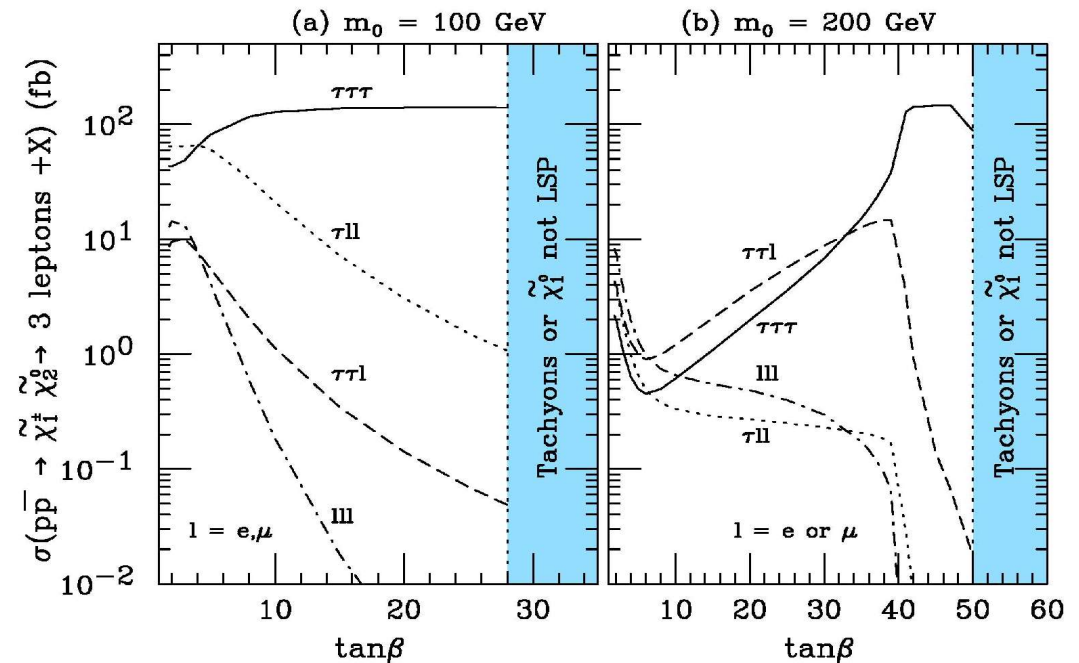
# PRODUCTION DE CHARGINOS ET DE NEUTRALINOS

- état final à trois leptons + MET considéré comme le « canal en or » car, malgré le faible taux de production ( $0.5\text{-}1\text{pb}^{-1}$ ), les bruits de fond du modèle standard sont très faibles



$$\sqrt{s} = 2.0 \text{ TeV}, \mu > 0, m_{1/2} = 200 \text{ GeV}$$

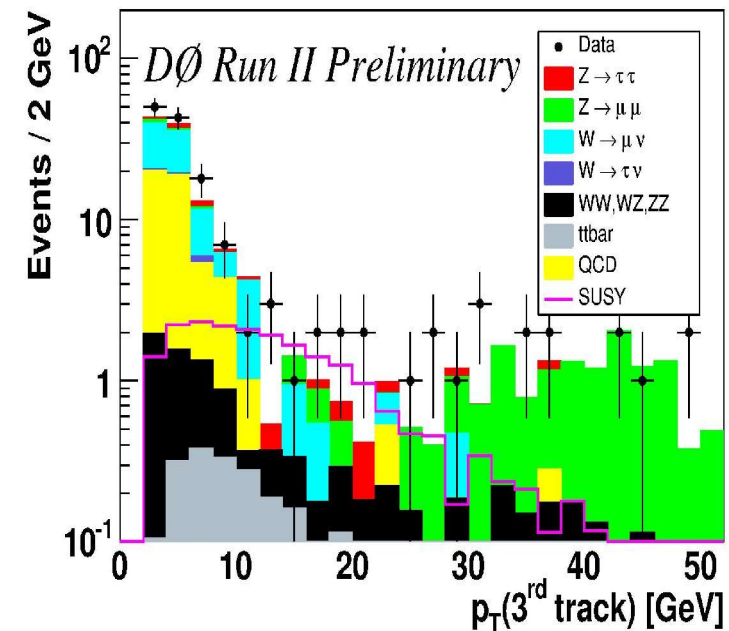
- le stau le plus léger peut être le plus léger des sleptons, favorisant un état final avec des taus
- suivant l'espace des paramètres, les charginos et neutralinos (de type winos) se couplent principalement au stau le plus léger (qui a une composante gauche)
- des états finals avec 1 tau ou plus sont fréquents





# PRODUCTION DE CHARGINOS ET DE NEUTRALINOS

- **états finals recherchés:** e ou  $\mu$  + tau hadronique identifié + trace isolée
- **jeu de données:**  $L_{int} \sim 325 \text{ pb}^{-1}$  par analyse (juin 2004), déclenchement sur un e ou muon
- **bruits de fond majeurs:** QCD multijets, Z, W et WZ
- **stratégie des analyses:** coupure forte sur le NNjet (0.95 ou 0.9), seulement les taus de types 1 et 2 sont sélectionnés (meilleure pureté); veto sur la production de bosons; la troisième trace n'est pas identifiée pour augmenter la sensibilité
- $\mu + \tau + l$ :  $N_{exp} = 0.36 \pm 0.1 \text{ (stat)} \pm 0.07 \text{ (syst)} \pm 0.01 \text{ (lum)}$   $N_{data} = 1$
- $e + \tau + l$ :  $N_{exp} = 0.58 \pm 0.1 \text{ (stat)} \pm 0.09 \text{ (syst)} \pm 0.01 \text{ (lum)}$   $N_{data} = 0$
- pas d'excès observé
- ces analyses sont combinées à des canaux mettant en jeu des leptons e et mu ( $eel$ ,  $e\mu l$ ,  $\mu\mu l$ , LS  $\mu\mu$ ) et améliorent la sensibilité



# PRODUCTION DE SQUARKS ET DE GLUINOS

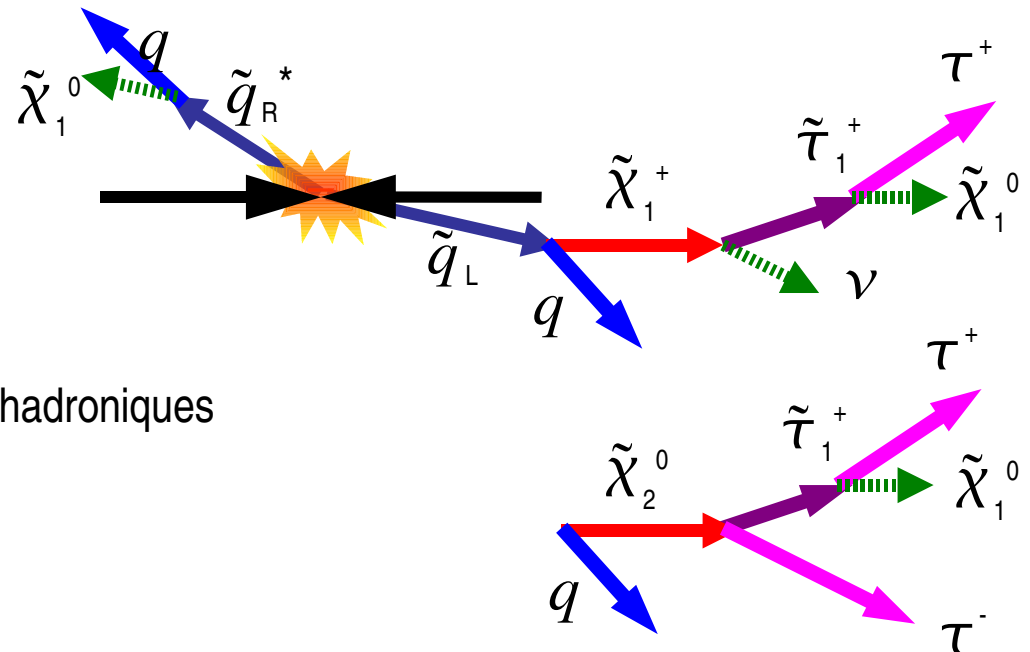
- les squarks et les gluinos sont les partenaires des quarks et des gluons dans les modèles SUSY
- ils pourraient être abondamment produits dans les collisionneurs hadroniques (interaction forte)
- les squarks et les gluinos (via les cascades) peuvent se désintégrer en charginos et neutralinos
- les états finals peuvent donc contenir des taus en abondance

**Cette analyse est en cours d'élaboration.**

**Les distributions et les nombres que je vous présente ici n'engagent que moi !**

# PRODUCTION DE SQUARKS ET DE GLUINOS

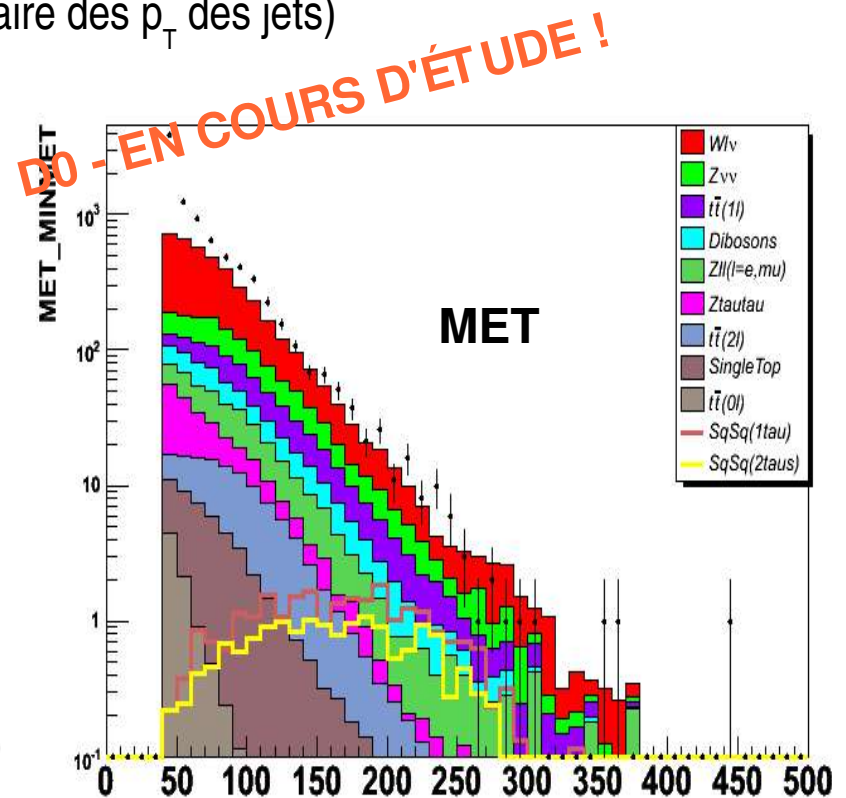
- **canal de production étudié:**  $q+q^* \rightarrow \tilde{q}_L + \tilde{q}_R^*$  dominant si  $M(\tilde{q}) < M(\tilde{g})$
- **signature recherchée:**
  - $\tilde{q}_R^* \rightarrow q + \text{LSP}$
  - $\tilde{q}_L \rightarrow q + \begin{cases} \tilde{\chi}_1^+ \rightarrow q + \tilde{\tau}_1^+ + \nu & (2/3 \text{ du temps}) \rightarrow \text{2 jets + 1 tau + met} \\ \text{ou bien } \tilde{\chi}_2^0 \rightarrow q + \tilde{\tau}_1^+ + \tau^- & (1/3 \text{ du temps}) \rightarrow \text{2 jets + 2 taus + met} \end{cases}$



- le tau est recherché dans ses désintégrations hadroniques (taux d'embranchement plus élevé)
- un unique tau est identifié (acceptance)

# PRODUCTION DE SQUARKS ET DE GLUINOS

- **déclenchement:** l'ensemble des données du Run II-a est analysé !
  - MHT30\_3CJT5 ( $\sim 290 \text{ pb}^{-1}$ ): présence d'amas calorimétriques et d'énergie transverse manquante
  - JT1\_ACO\_MHT\_HT ( $\sim 700 \text{ pb}^{-1}$ ): augmentation de la luminosité instantanée du Tevatron, ajout de conditions sur l'acoplanarité des jets de plus haut  $p_T$ , la direction spatiale des jets vis-à-vis de l'énergie transverse manquante et la « dureté » de l'événement (somme scalaire des  $p_T$  des jets)
- **bruit de fond majeurs:**
  - événements multijets, W(+jets) et paires de top
  - leur estimation repose sur la simulation (sauf la QCD)
- **préselection:**
  - 2 jets de haute impulsion transverse acoplanaires
  - réjection des événements où les jets sont mal mesurés (création artificielle de MET)
  - réjection des événements avec une basse MET (40 GeV)
  - N données / simulation = 8699 / 4021

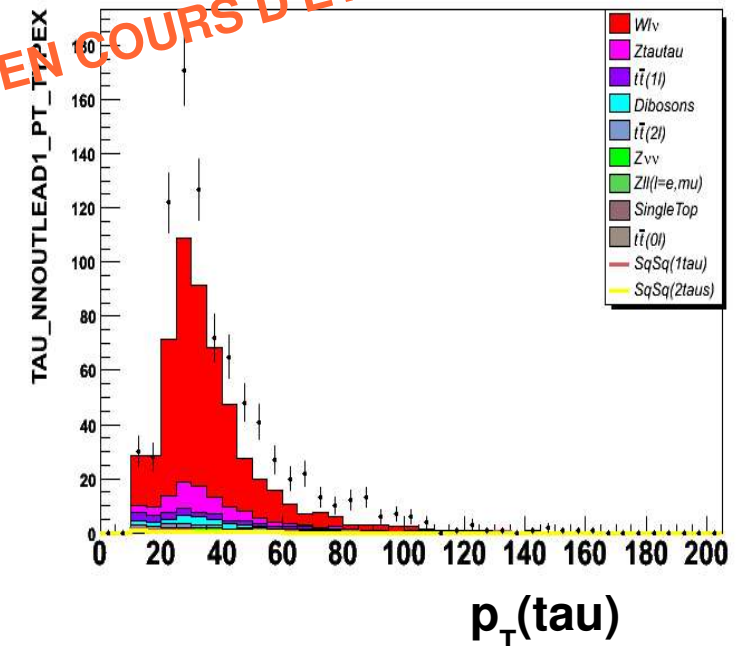


# PRODUCTION DE SQUARKS ET DE GLUINOS

- **sélection d'un tau candidat:**

- qualité et acceptance (sélection standard,  $E_T > 10$  GeV)
- sorties neuronales: NNjet type 1/2/3 = 0.9 / 0.9 / 0.95  
NNelec type 2 = 0.9
- N données / simulation = 856 / 560

D0 - EN COURS D'ÉTUDE !



- **1 candidat tau en plus des 2 jets:**

- N données / simulation = 137 / 122

# PRODUCTION DE SQUARKS ET DE GLUINOS

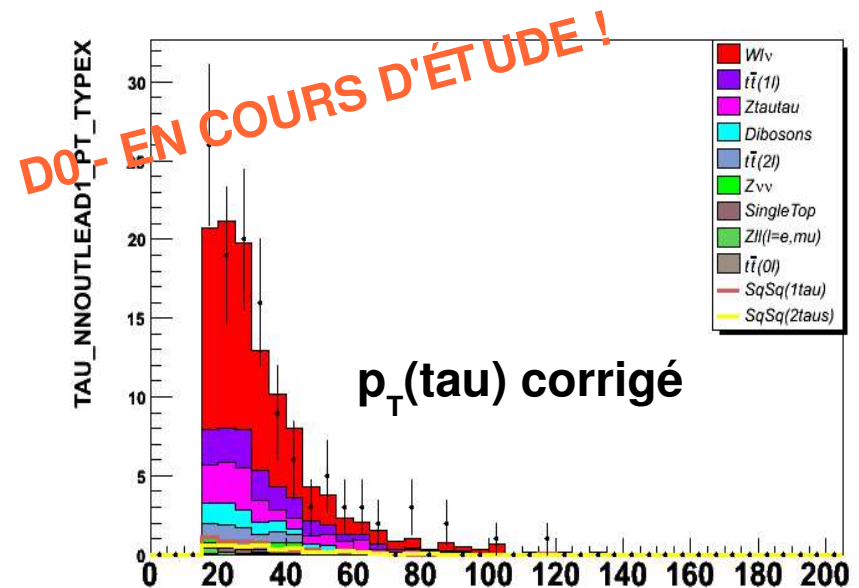
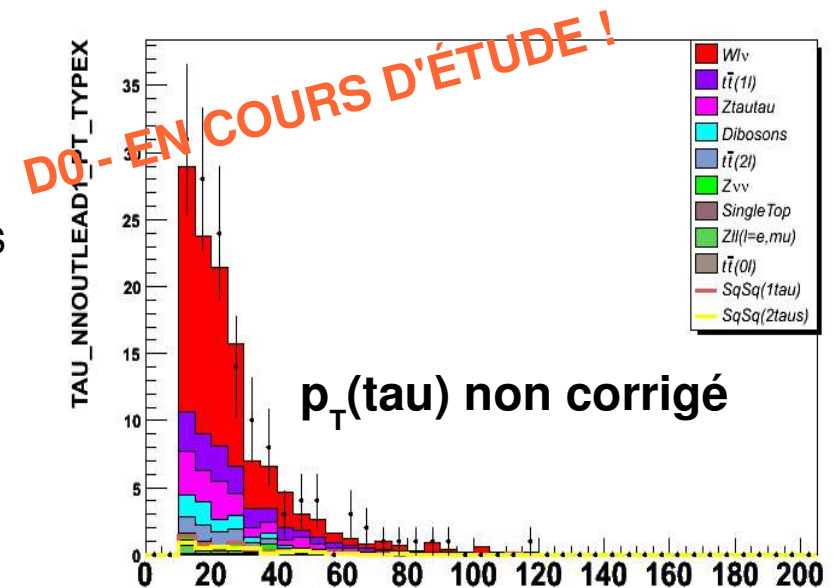
- **correction de l'énergie visible des taus:**

- méthode de correction basée sur le trajectographe, utilisation pionnière qui utilise une simulation améliorée des gerbes (Gcalor) pour corriger les données
- coupures adaptées à l'augmentation du  $E_T$  des taus qui s'en suit ( $E_T > 15$  GeV,  $E/p > 0.7$ )

N données (par type): 119 (11 / 46 / 62)

N simulation (par type): 112 (11 / 45 / 56)

- trop peu de statistique pour valider la méthode
- les résultats sont toutefois en accord avec les attentes



# PRODUCTION DE SQUARKS ET DE GLUINOS

- extraction du signal:**

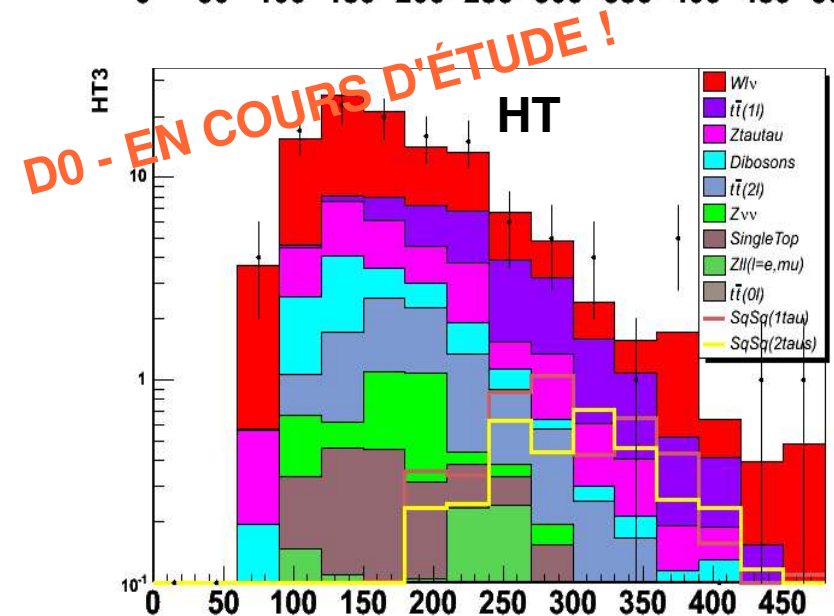
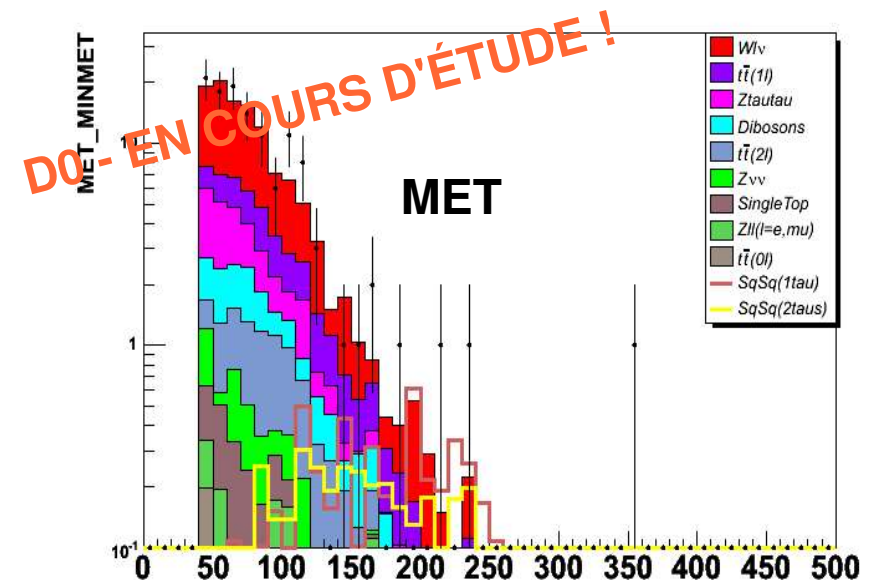
- utilisation des distributions en MET (caractéristique de signal SUSY dans ces modèles) et de la somme scalaire de l' $E_T$  des jets (HT)
- typiquement:  $MET > 125$  GeV et  $HT > 250$  GeV

- résultats:**

- finalisation de l'analyse en cours

- conclusions:**

- cette analyse est l'une des premières à rechercher de la nouvelle physique signée avec des taus dans un état final multijets
- un bon accord entre les données et la simulation est observé (notamment dans les distributions spécifiques du tau)





# PLAN DE L'EXPOSÉ

- motivations physiques
- reconstruction et identification des taus
- validation des algorithmes
- recherche de nouvelles particules
- remarques finales

# REMARQUES FINALES

- D0 a mis en place des techniques performantes d'identification des taus dans leurs voies hadroniques
  - l'efficacité de sélection des taus est  $> 50\%$  pour des facteurs de réjection des bruits de fond de  $\sim 100$
  - ces techniques sont utilisées pour la recherche de nouvelle physique
  - des résultats majeurs ont déjà été obtenus
- à l'heure actuelle:
  - luminosité au-delà de la conception initiale (accélérateur et détecteur)
  - le mode de fonctionnement du Tevatron est proche de celui du LHC dans la phase de basse luminosité
  - notre stratégie actuelle nécessite des modifications afin d'assurer le même niveau de performance pour les analyses signées avec des taus à venir

