

Recherche de bosons de Higgs supersymétriques auprès de l'expérience D0

Romain Madar

Stage de pré-thèse NPAC encadré par
Fabrice Couderc et Marc Besançon.
Juin 2008, CEA Saclay

Plan de l'exposé

- Introduction, motivations
- Présentation de l'expérience D0
- Recherches déjà effectuées
- Nouvelle évaluation de la cinématique des neutrinos
 - Méthode standard
 - Hypothèse et utilisation
 - Résultats et optimisations
- Conclusions

Introduction, motivations

Modèle standard + Mécanisme de Higgs → Masse aux bosons de jauge.

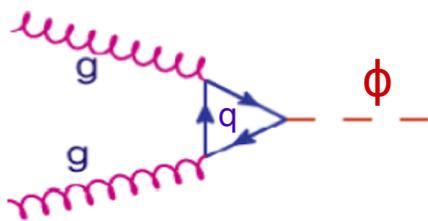
└─→ Boson de Higgs

Problématiques :

- Particule encore **jamais observée** ;
- Certains **problèmes théoriques** du Modèle Standard amènent à considérer une **extension supersymétrique**.

Les bosons de Higgs dans le Modèle Standard Supersymétrique Minimal

- 2 doublets : **5 champs physiques** ; h, H, A, H^{\pm}
- **2 paramètres** suffisent à décrire le secteur du Higgs (à l'ordre des arbres) :
$$\begin{cases} \tan \beta \equiv \frac{v_u}{v_d} \\ m_A \end{cases}$$
- Production/désintégration de $h/H/A$ (noté ϕ) :



à grand $\tan\beta$, **deux** modes possibles :

$\phi \rightarrow \tau\tau$; BR=10% et $\phi \rightarrow b\bar{b}$; BR=90%

L'expérience D0

Le Tevatron

Caractéristiques de la machine :

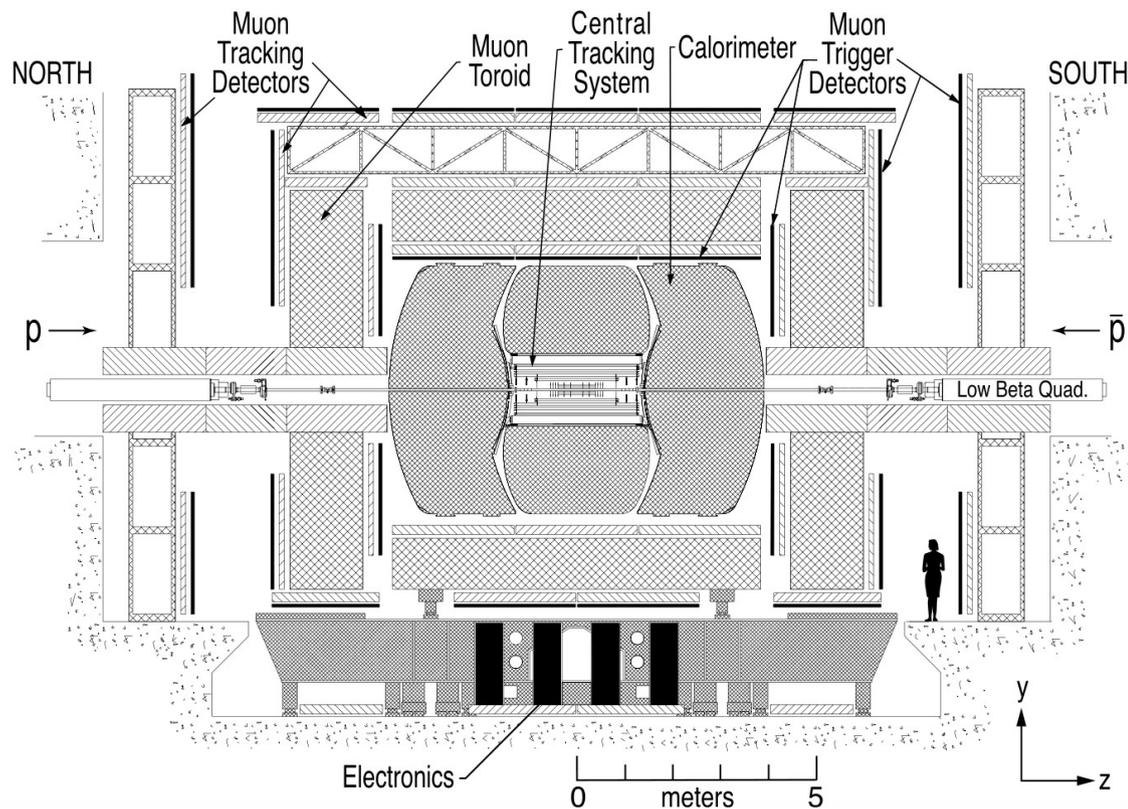
- collisions protons anti-protons
- énergie dans le CM : 1,96 TeV
- luminosité instantannée record : $300 \cdot 10^{30} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$



Luminosité intégrée attendue à l'horizon
2010 : **5-7 fb⁻¹**

L'expérience D0

Le détecteur D0



Structure en couche :

Détecteur de vertex

Détecteur de traces

Calorimètre EM

Calorimètre hadronique

Chambre à muons

Recherches du boson de Higgs en $\tau\tau$

Processus étudié : $\phi \rightarrow \tau (\rightarrow \mu \bar{\nu}_\mu \nu_\tau) \tau (\rightarrow had \nu_\tau)$

canaux $e\mu$ et $e\tau_{had}$ utilisés dans D0 mais moins sensibles
 canal $\tau_{had}\tau_{had}$ trop difficile à extraire

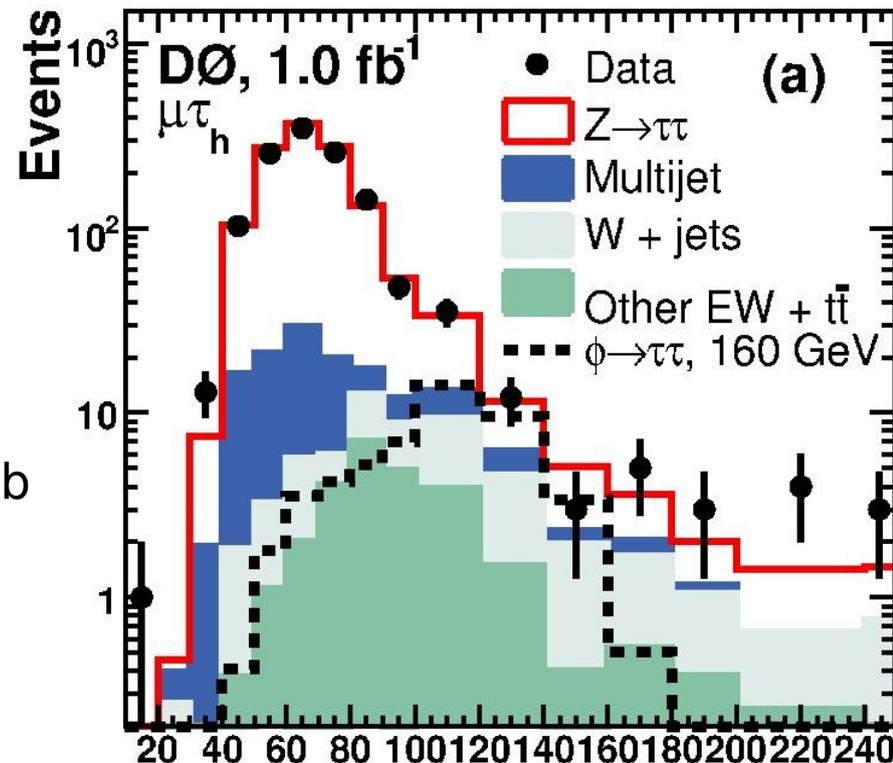
Analyse précédente :

Observable utilisée :

$$M_{\tau\tau}^2 = \left(\sum_i P_i \right)^2 = \left(\sum_{vis} P_{vis} + \cancel{P} \right)^2$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma(\phi) * BR(\phi \rightarrow \tau\tau) = 20 \text{ pb} * 0.10 = 2 \text{ pb} \\ \sigma(Z) * BR(Z \rightarrow \tau\tau) = 256 \text{ pb} * 0.03 = 7.7 \text{ pb} \end{array} \right.$$

Analyse faite avec 1 fb^{-1} de données.
 D'ici la fin de la thèse : $5-7 \text{ fb}^{-1}$.



Ref : arXiv:0805.2491 [hep-ex]

$M_{\tau\tau}$

Plan de l'exposé

- Introduction, motivations
- Présentation de l'expérience D0
- Recherche déjà effectuée
- **Nouvelle évaluation de la cinématique des neutrinos**
 - Méthode standard
 - Hypothèse et utilisation
 - Résultats et optimisations
- Conclusions

Méthode standard

Certaines **hypothèses** sont **nécessaires** pour extraire le 4-vecteur des neutrinos (noté \mathcal{P}) à partir des quantités mesurées :

- la composante longitudinale de \mathcal{P} est nulle :
- le carré scalaire de \mathcal{P} est nul.

Information
complète

$$\mathcal{P} = \begin{pmatrix} \mathcal{P}_x \\ \mathcal{P}_y \\ \mathcal{P}_z \\ E \end{pmatrix}$$



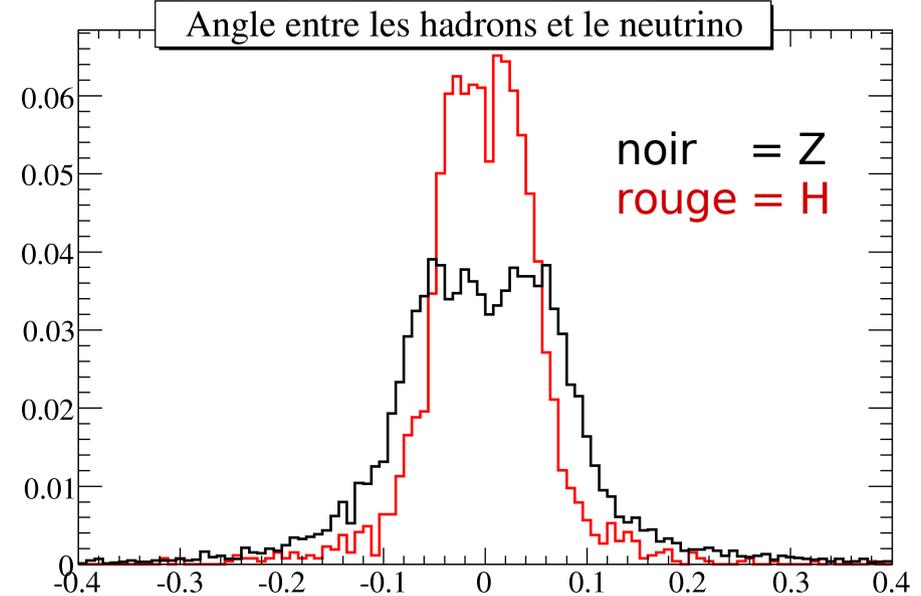
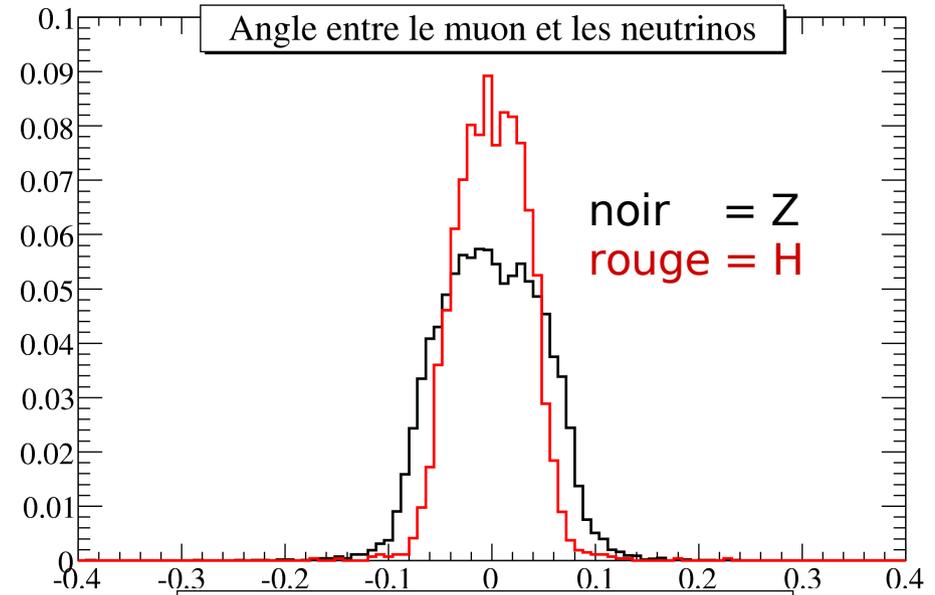
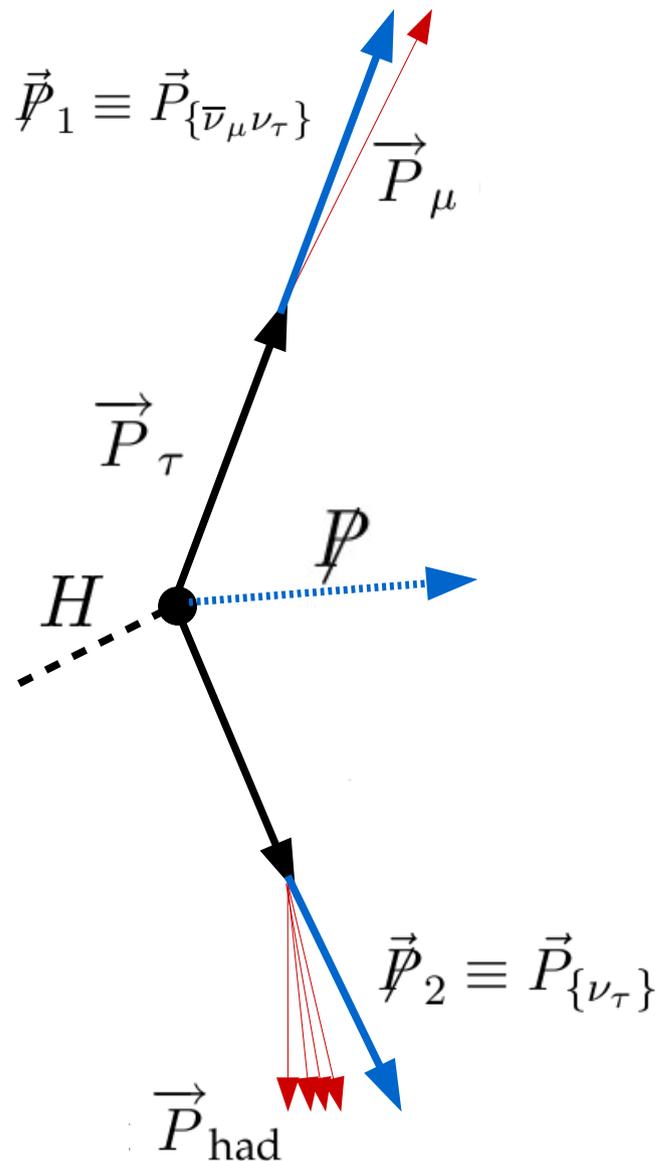
$$\mathcal{P} = \begin{pmatrix} \mathcal{P}_x \\ \mathcal{P}_y \\ 0 \\ \sqrt{\mathcal{P}_x^2 + \mathcal{P}_y^2} \end{pmatrix}$$

Information
extraite des
mesures

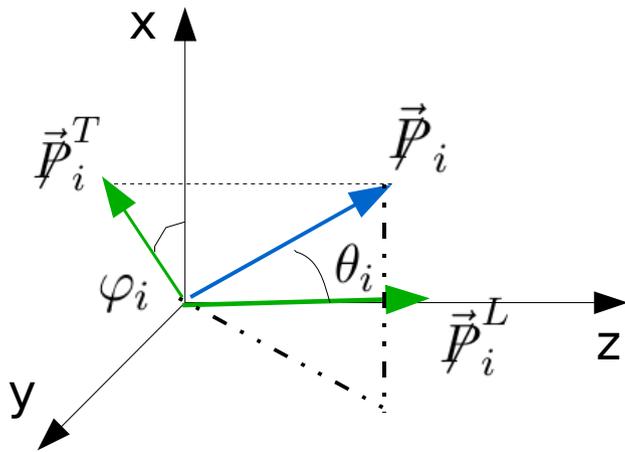
L'information manquante **déforme** les distributions de masse invariante et diminue **le pouvoir discriminant** de l'analyse :

Peut-on récupérer une partie de cette information ?

Hypothèse et justifications

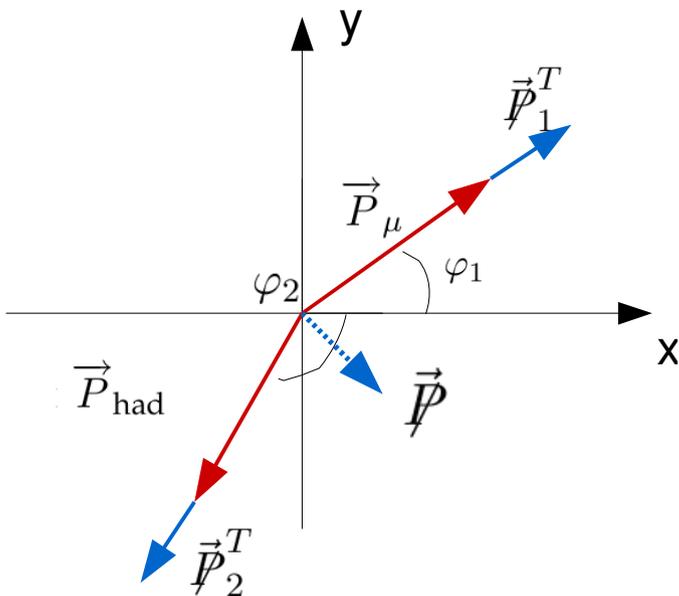


Utilisation de l'hypothèse



$$\vec{P}_i = P_i^T (\cos \varphi_i \vec{e}_x + \sin \varphi_i \vec{e}_y) + P_i^L \vec{e}_z$$

(φ_i, θ_i) connus grâce à l'approximation et aux mesures ;
 (P_i^T, P_i^L) inconnus.



$$\begin{cases} P_1^T \cos \varphi_1 + P_2^T \cos \varphi_2 = P \cos \varphi_{\text{met}} \\ P_1^T \sin \varphi_1 + P_2^T \sin \varphi_2 = P \sin \varphi_{\text{met}} \end{cases}$$

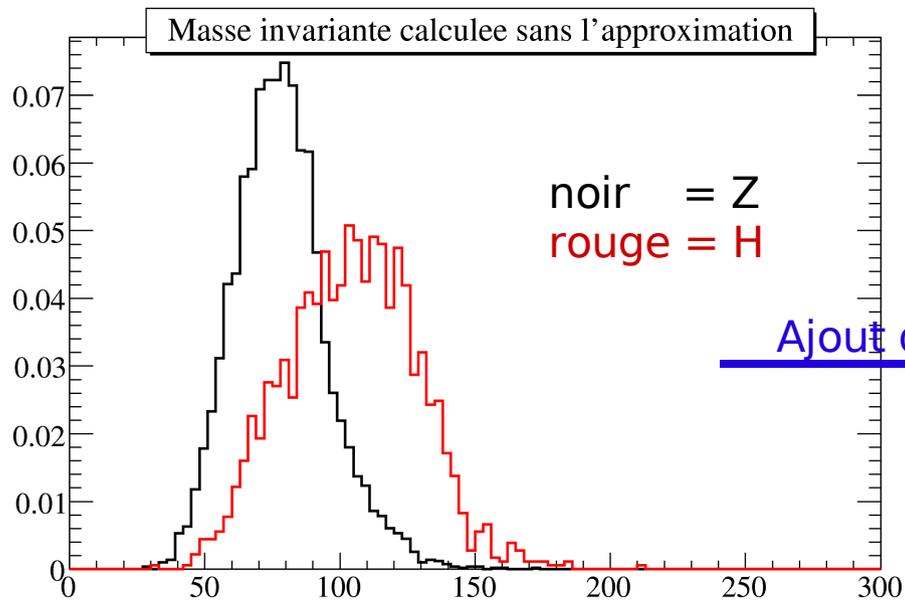
permet de déduire P_i^T des mesures ;

$$\|P_i^L\| = \frac{\|\vec{P}_i^T\|}{\sin \theta_i} \quad \text{achève la détermination du 3-vecteur de chaque neutrino.}$$

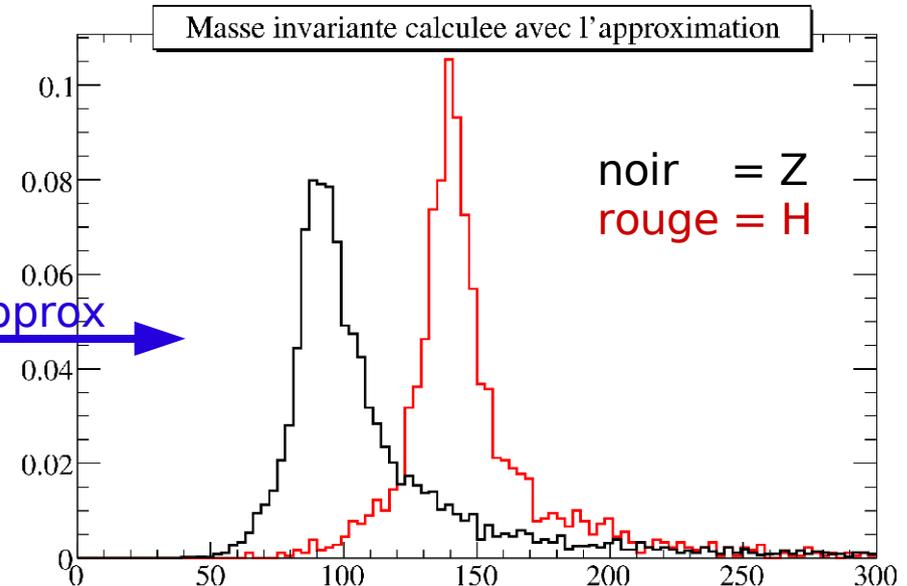
$$E_i = \|\vec{P}_i\| \quad \text{achève la détermination du 4-vecteur de chaque neutrino.}$$

Premiers résultats (1)

Sans les effets du détecteur



Ajout de l'approx



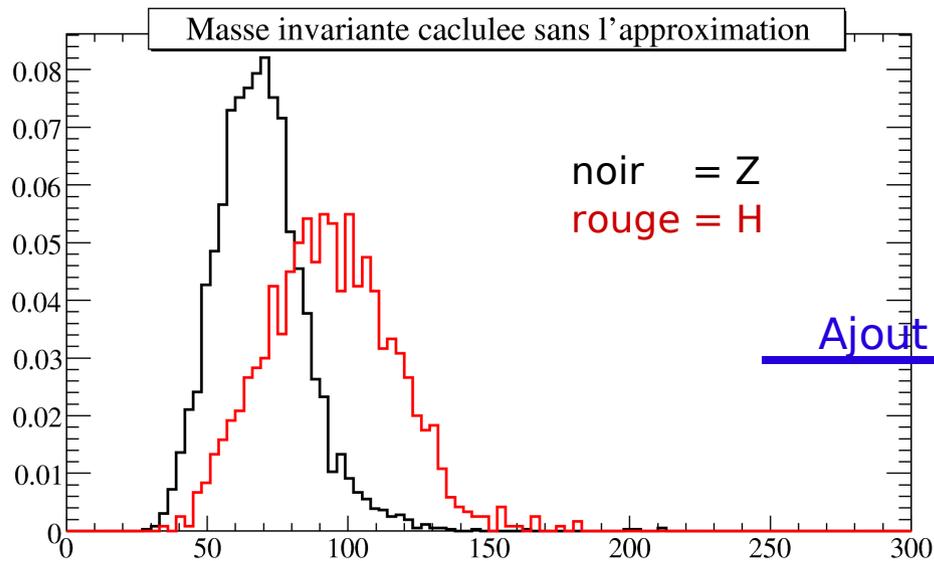
distributions non
piquées et assez larges

distributions centrées
sur les bonnes masses
et plus étroites

La **séparation** des deux
distributions est plus **grande**

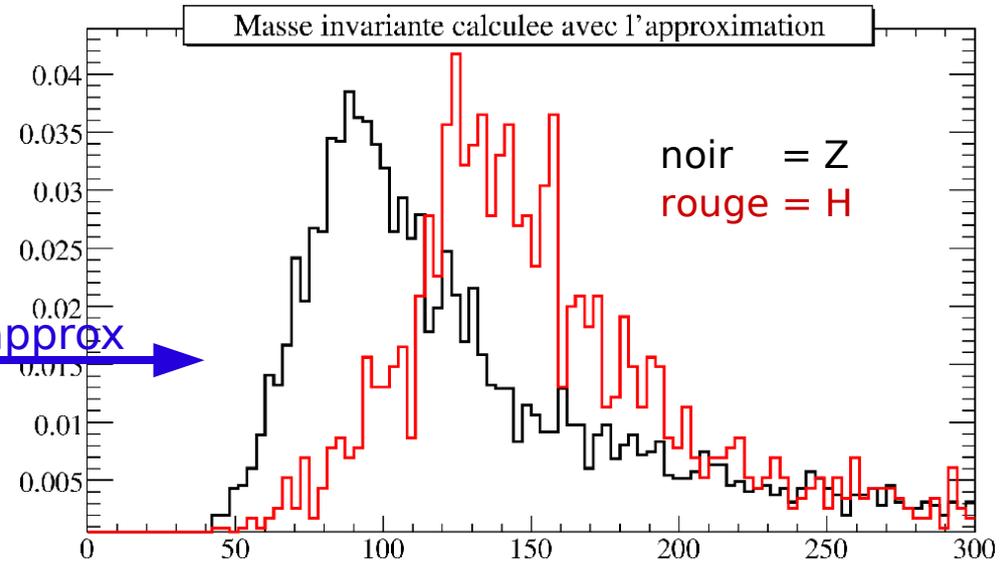
Premiers résultats (2)

Avec les effets du détecteur



distributions non piquées et assez larges

Ajout de l'approx



distributions centrées sur les bonnes masses mais plus large encore !

Comment gagner tout de même en séparation ?

Optimisation : stratégie

Résolution algébrique impossible pour un processus où les deux taus sont parfaitement dos à dos (i.e. $\Delta\varphi = \pi$).

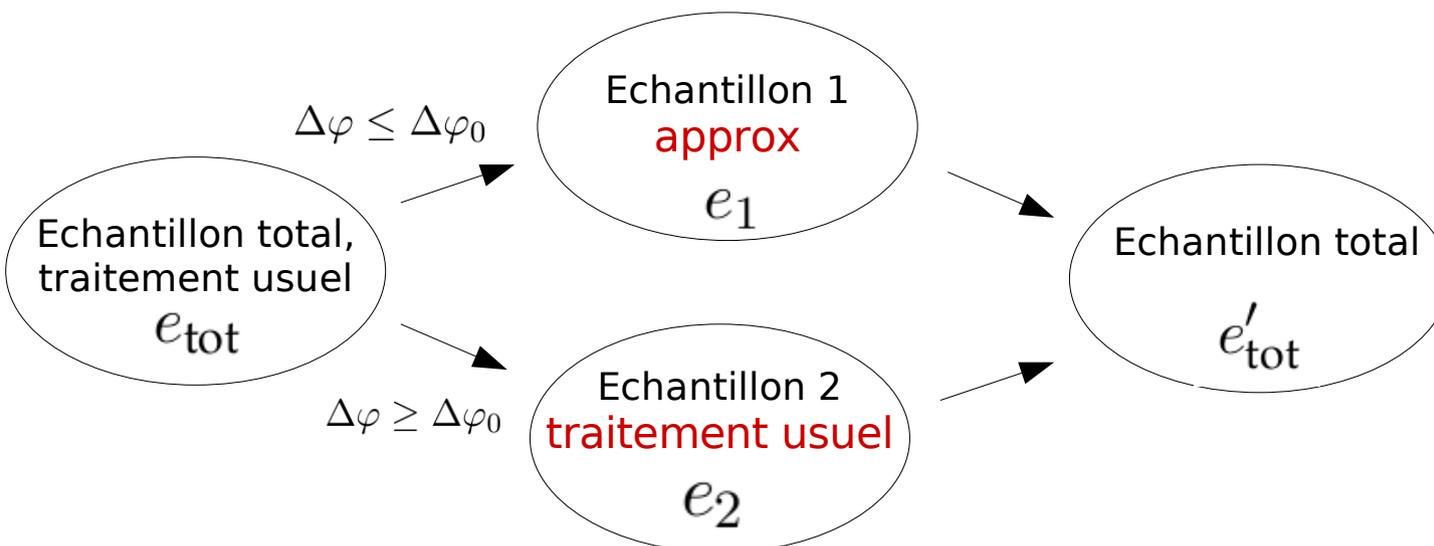
(la résolution numérique donne des résultats aberrants)



Introduction d'une sélection sur $\Delta\varphi$, notée $\Delta\varphi_0$.

(sélectionne les événements aptes à subir l'approximation)

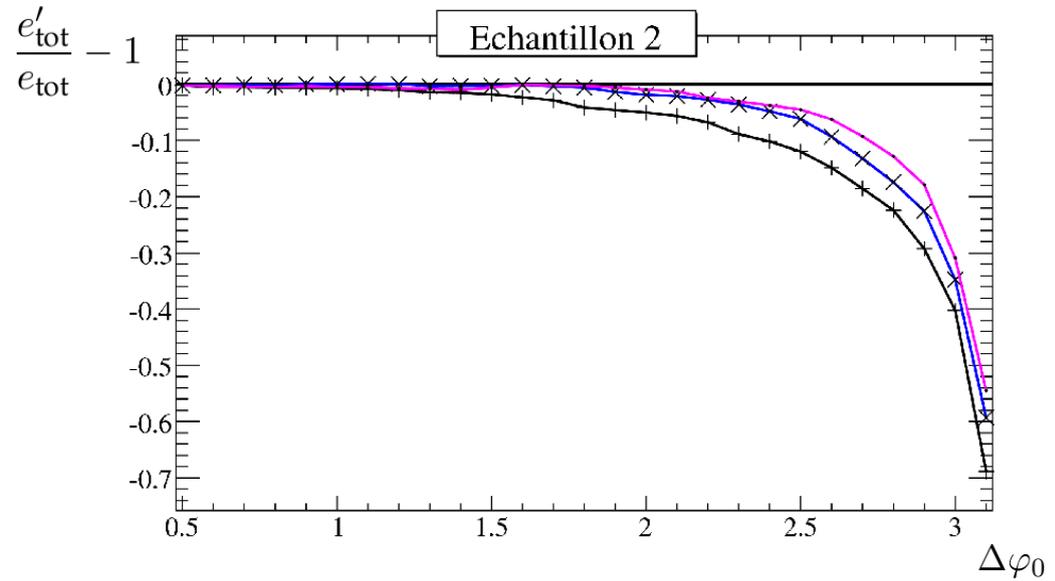
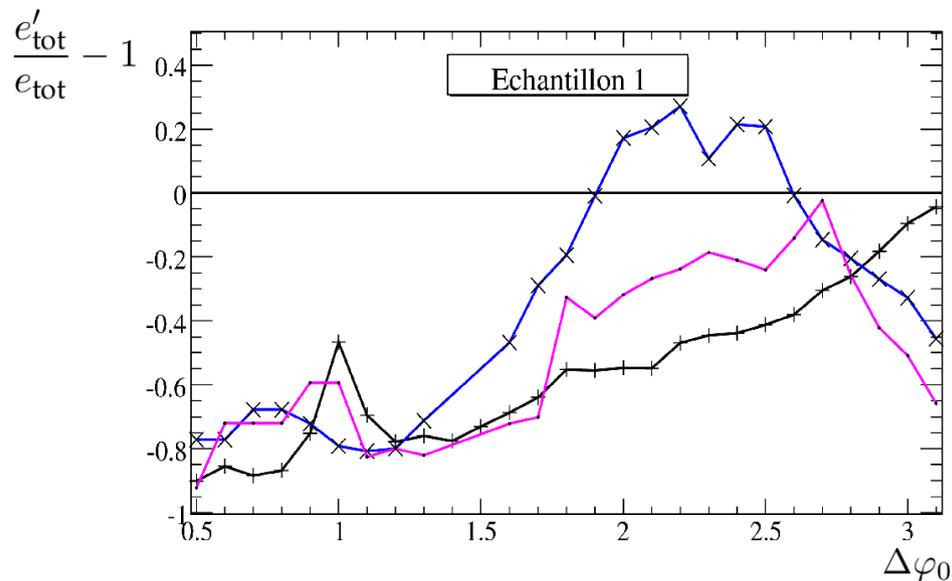
Estimateur de la séparation des distributions : signification statistique du signal par rapport au bruit



$\frac{e'_{\text{tot}}}{e_{\text{tot}}}$ max pour quel $\Delta\varphi_0$?

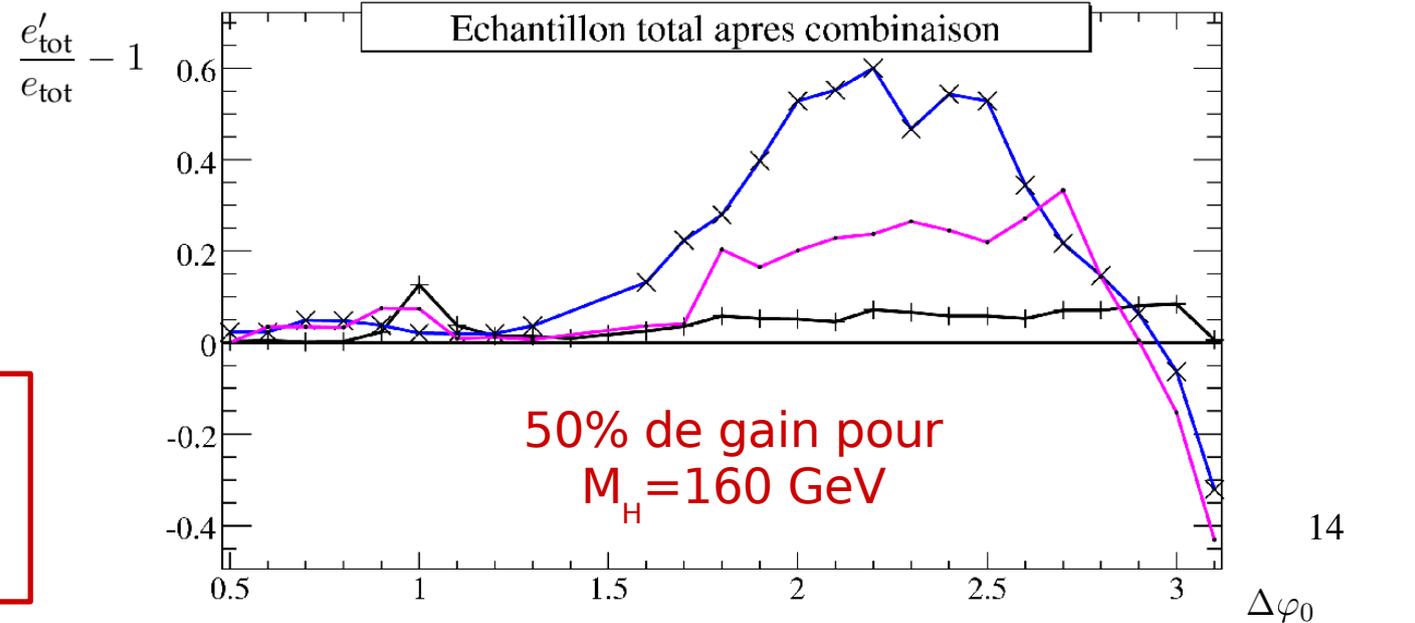
$\left(\frac{e'_{\text{tot}}}{e_{\text{tot}}}\right)_{\text{max}} > 1 ?$

Optimisation : résultats



Legend

- $m_H = 100$ GeV
- $m_H = 160$ GeV
- $m_H = 200$ GeV



Sélection optimale :
 $(\Delta\varphi_0)_{\text{opt}} \simeq 2.5$

50% de gain pour
 $M_H = 160$ GeV

Conclusions

Objectifs atteints ?

- Augmenter la **discrimination signal-bruit** grâce à la cinématique de la réaction.
- Gain en signification statistique de l'ordre de **30%** (équivalent à multiplier la statistique par 1.7 !)

Perspectives :

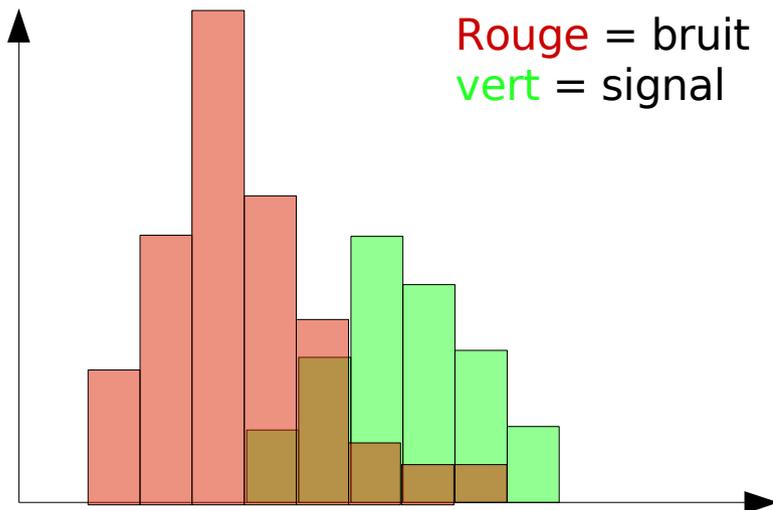
- étudier la signification en fonction **d'autres coupures** pour une meilleure optimisation.
- Utiliser ce traitement avec **tous les bruits de fond**
- Faire une étude de la dépendance avec M_H
- Trouver un estimateur plus sophistiqué
- Appliquer le traitement aux **données réelles**

Remerciements :

Fabrice Couderc et Marc Besançon pour leur encadrement.
Toute l'équipe de D0 de Saclay pour son accueil.

Optimisation : stratégie

Définition de l'estimateur



Pour un intervalle i donné :

$$e_i = \frac{s_i - b_i}{\sqrt{b_i}} = \frac{\text{excès dû au signal}}{\text{fluctuation du bruit}}$$

Pour l'ensemble de l'histogramme : $e^2 = \sum_i e_i^2$

(suppose que les intervalles ne sont pas corrélés entre eux)