

# Une nouvelle méthode d'alignement du spectromètre à muons de PHENIX

- Conférence d'Etat -

le 29 juin 2005

*Catherine Silvestre*

- ✓ **Pourquoi une nouvelle méthode d'alignement ?**
- ✓ **Le spectromètre à muons**
- ✓ **Présentation de la méthode**
- ✓ **Contraintes**
- ✓ **Présentation des résultats**
- ✓ **Améliorations futures**

Plan

But

Spectromètre

Méthode

Contraintes

Résultats

Futur

## Pourquoi une nouvelle méthode d'alignement ?

*Désalignements à cause des réparations entre 2 prises de données, de la mise en route du champ magnétique...*

Plan

But

Spectromètre

Méthode

Contraintes

Résultats

Futur

### Méthode itérative actuelle

- Basée sur des détecteurs de référence supposés alignés, utilisés dans le PR pour aligner les autres
- Ne prend en compte qu'une partie moyennée des informations (distribution moyenne des résidus)
- Alignement fait à la main, de façon itérative
  - beaucoup de traitement de données
- Convergence pas assurée
  - Les résultats biaisés changent si d'autres détecteurs de référence sont utilisés

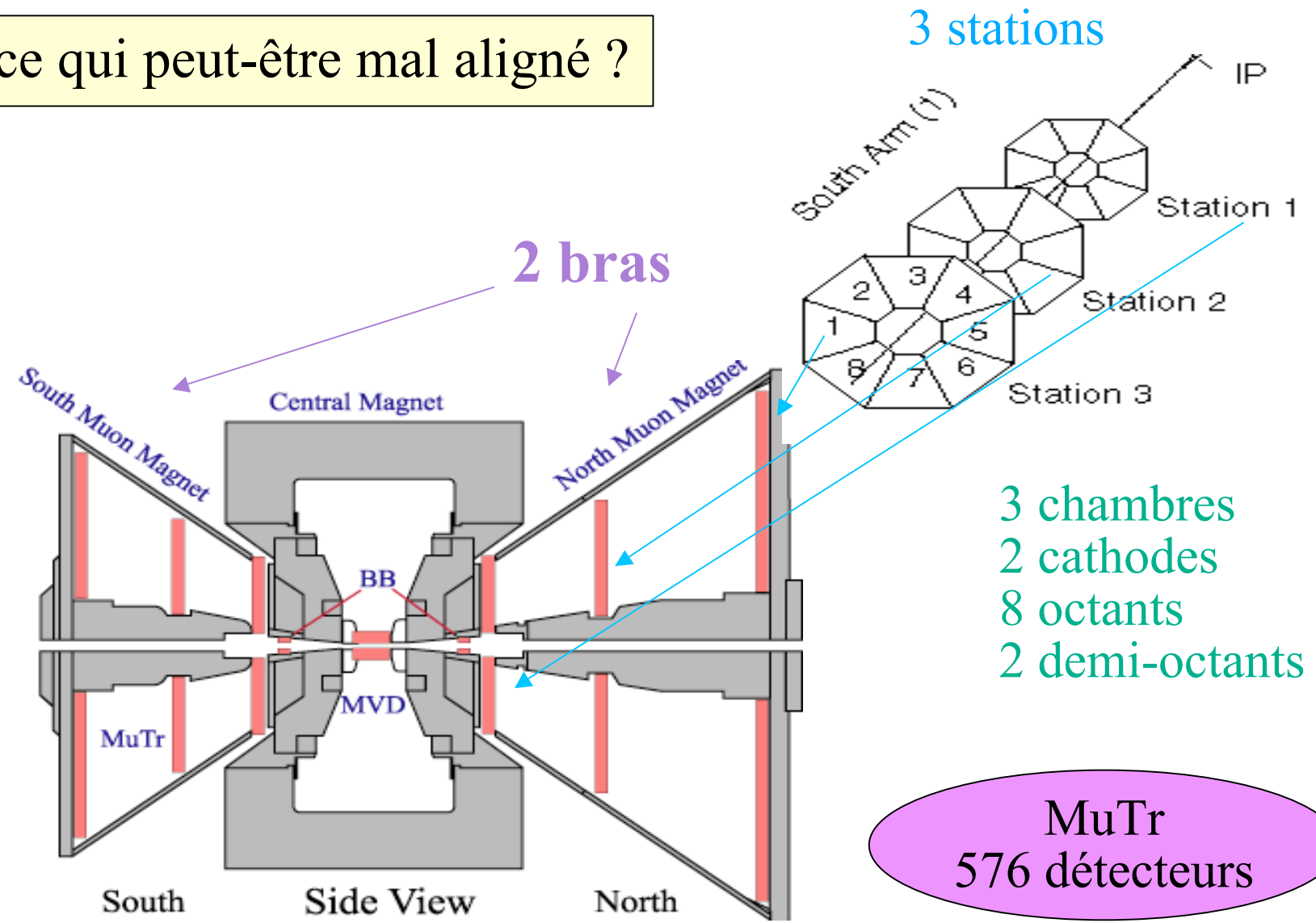
### Nouvelle méthode globale

- Tous les détecteurs sont utilisés dans le PR
- Minimisation du  $\sum \chi^2$  de trace en une fois
  - Seulement une reconstruction
  - Résultats optimum
- Remarque:
  - Un nombre limité de détecteurs de référence sont fixés de façon arbitraire pour empêcher les transformations globales du spectromètre

# Le Traceur de Muons - MuTr

Qu'est-ce qui peut-être mal aligné ?

- Plan
- But
- Spectromètre
- MuTr
- MuID
- Méthode
- Contraintes
- Résultats
- Futur



MuTr  
576 détecteurs

# L'Identificateur de Muons - MuID

Qu'est-ce qui peut-être mal aligné ?

- Plan
- But
- Spectromètre
- MuTr
- MuID**
- Méthode
- Contraintes
- Résultats
- Futur

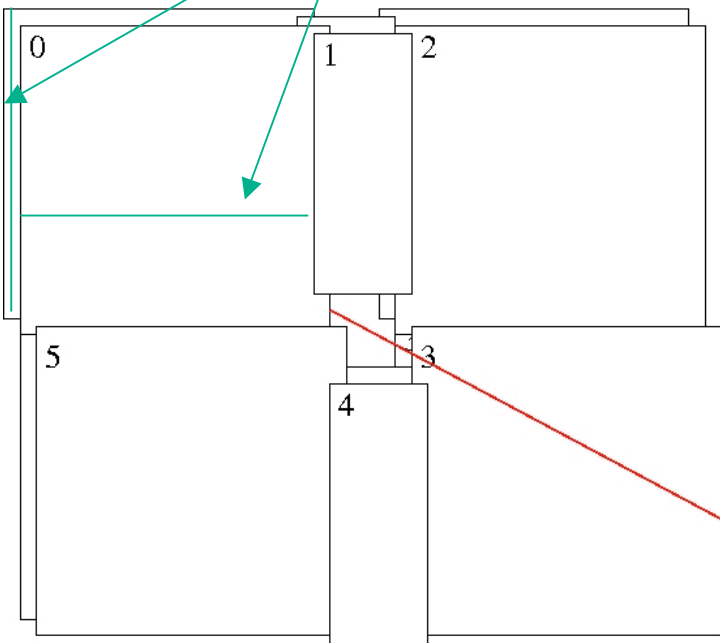
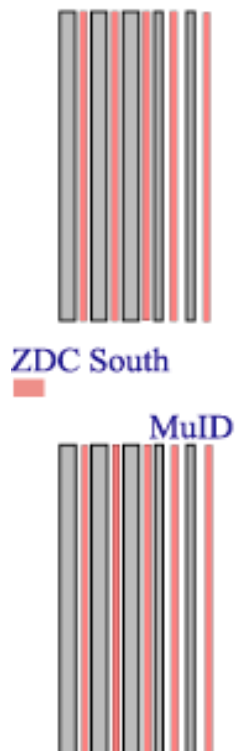
2 bras

5 plans

6 panneaux

2 orientations

MuID  
120 détecteurs



Au total  
**696 détecteurs**  
sont considérés  
indépendants

Plan

But

Spectromètre

Méthode

Algorithme

Paramètres

Contraintes

Résultats

Futur

## ✓ Présentation

- M. Blobel, théoricien allemand: code en fortran
- COMPASS & ALICE

## ✓ Minimisation d'une trace

- Pour chaque détecteur: minimisation de la différence entre le coup mesuré et le coup résultant de l'ajustement

## ✓ Annulation des dérivées partielles

$$\chi^2 = \sum_{\text{det}} \frac{|w_{\text{det}} - w_{\text{fit}}(\alpha_{\text{trk}}, \alpha_a)|^2}{\sigma_{\text{det}}^2}$$

## ✓ D'où

$$-\frac{1}{2} \frac{\partial \chi^2}{\partial \alpha_i} = \sum_{\text{det}} \frac{1}{\sigma_{\text{det}}^2} \left( \frac{\partial w_{\text{fit}}}{\partial \alpha_i} w_{\text{det}} - \sum_k \frac{\partial w_{\text{fit}}}{\partial \alpha_i} \frac{\partial w_{\text{fit}}}{\partial \alpha_k} \alpha_k \right) = 0$$

$$\begin{pmatrix} \sum_{\text{det}} \frac{1}{\sigma_{\text{det}}^2} \frac{\partial w_{\text{fit}}}{\partial \alpha_1} \frac{\partial w_{\text{fit}}}{\partial \alpha_1} & \cdots & \sum_{\text{det}} \frac{1}{\sigma_{\text{det}}^2} \frac{\partial w_{\text{fit}}}{\partial \alpha_1} \frac{\partial w_{\text{fit}}}{\partial \alpha_i} & \cdots \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots \\ \sum_{\text{det}} \frac{1}{\sigma_{\text{det}}^2} \frac{\partial w_{\text{fit}}}{\partial \alpha_i} \frac{\partial w_{\text{fit}}}{\partial \alpha_1} & \cdots & \sum_{\text{det}} \frac{1}{\sigma_{\text{det}}^2} \frac{\partial w_{\text{fit}}}{\partial \alpha_i} \frac{\partial w_{\text{fit}}}{\partial \alpha_i} & \cdots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \vdots \\ \alpha_i \\ \vdots \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} \sum_{\text{det}} \frac{1}{\sigma_{\text{det}}^2} \frac{\partial w_{\text{fit}}}{\partial \alpha_1} w_{\text{det}} \\ \vdots \\ \sum_{\text{det}} \frac{1}{\sigma_{\text{det}}^2} \frac{\partial w_{\text{fit}}}{\partial \alpha_i} w_{\text{det}} \\ \vdots \end{pmatrix}$$

## ✓ Minimisation de n traces $\chi^2 = \sum_{i=1}^n \chi_i^2$

- **Fonction des paramètres de traces de chaque traces**
- **Un seul jeu de paramètres d'alignement**

$$\begin{pmatrix} \sum C_i & \cdots & G_i & \cdots \\ \vdots & \ddots & 0 & 0 \\ G_i^T & 0 & \Gamma_i & 0 \\ \vdots & 0 & 0 & \ddots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_a \\ \vdots \\ \alpha_{t,i} \\ \vdots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum b_i \\ \vdots \\ \beta_i \\ \vdots \end{pmatrix}$$

4 paramètres de traces  
 2000 traces  
 3 paramètres d'alignement  
 576 détecteurs

---

Dimension de la matrice  
 $4 \times 2000 + 3 \times 576!$

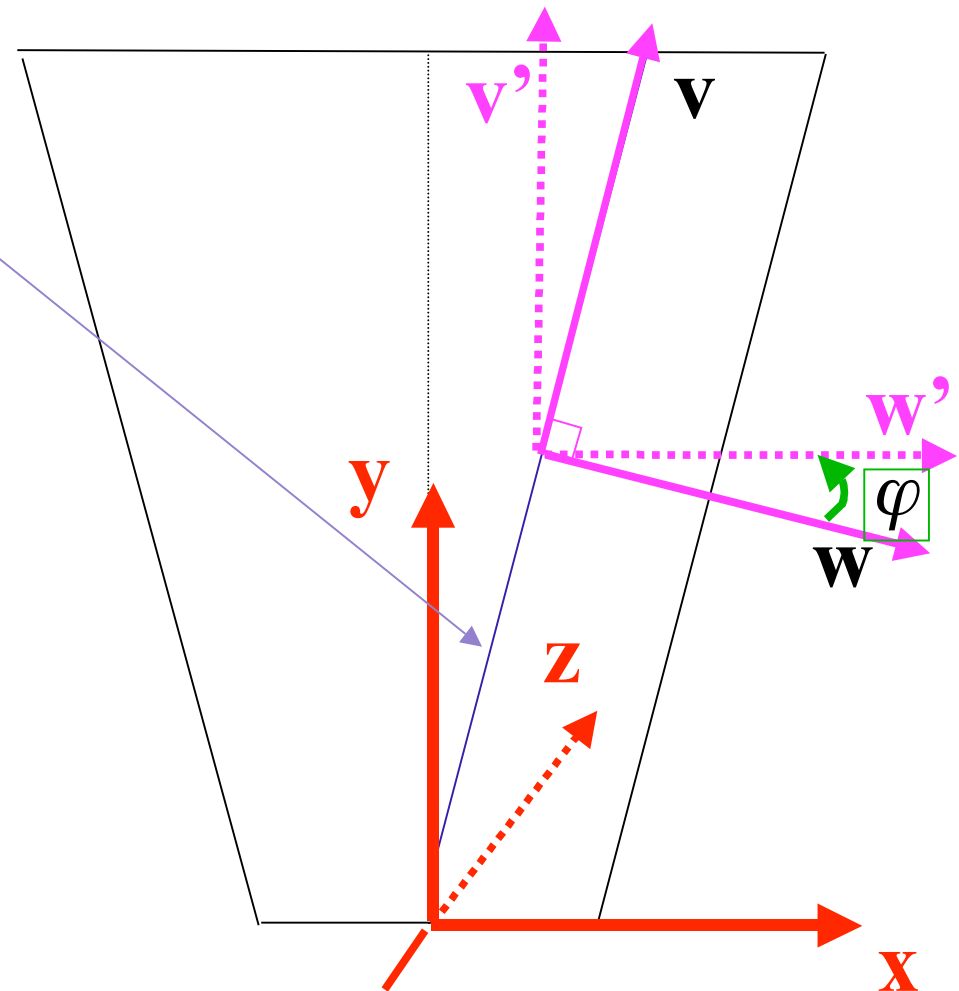
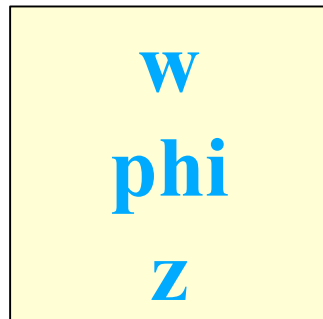
$C_i$  et  $b_i$  ne dépendent que de  $\partial w_j / \partial \alpha_a$   
 $\Gamma_i, \beta_i$  ne dépendent que de  $\partial w_j / \partial \alpha_{trk}$   
 $G_i$  inclu des termes mixtes  $(\partial w_j / \partial \alpha_a)(\partial w_j / \partial \alpha_{trk})$   
 Les 0 proviennent de l'indépendance entre les paramètres

- Plan
- But
- Spectromètre
- Méthode
- Algorithmme
- Paramètres
- Contraintes
- Résultats
- Futur

## ✓ Paramètres d'alignement

### Deux demi-octants

Piste de détection



Plan

But

Spectromètre

Méthode

Algorithme

Paramètres

Contraintes

Résultats

Futur



# Dépendance des paramètres d'alignement [2/4]

✓ **Résidus**  $\langle \Delta w \rangle = w_{\text{det}} - w_{\text{fit}}$

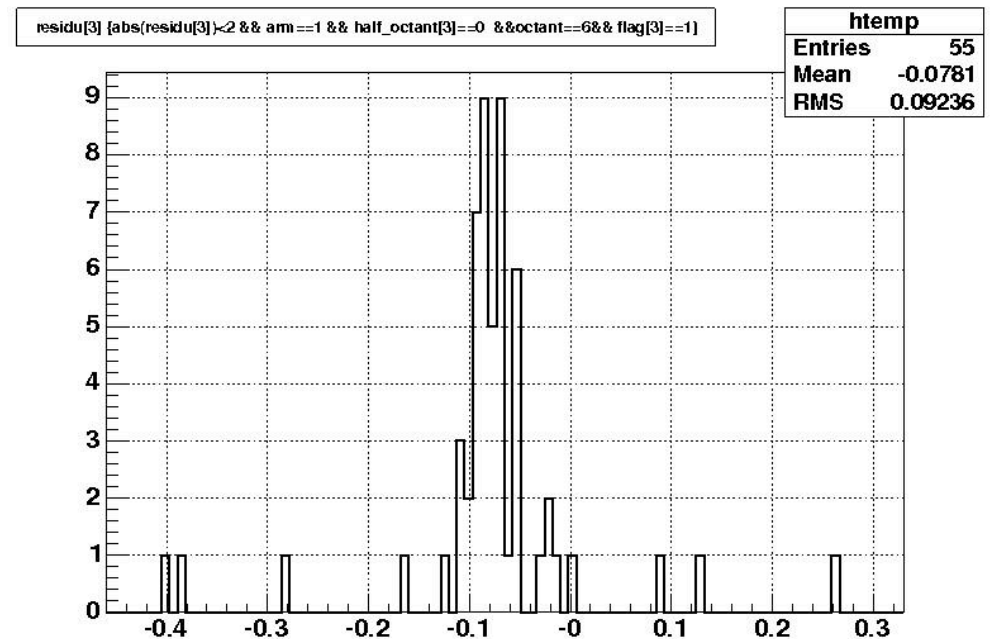
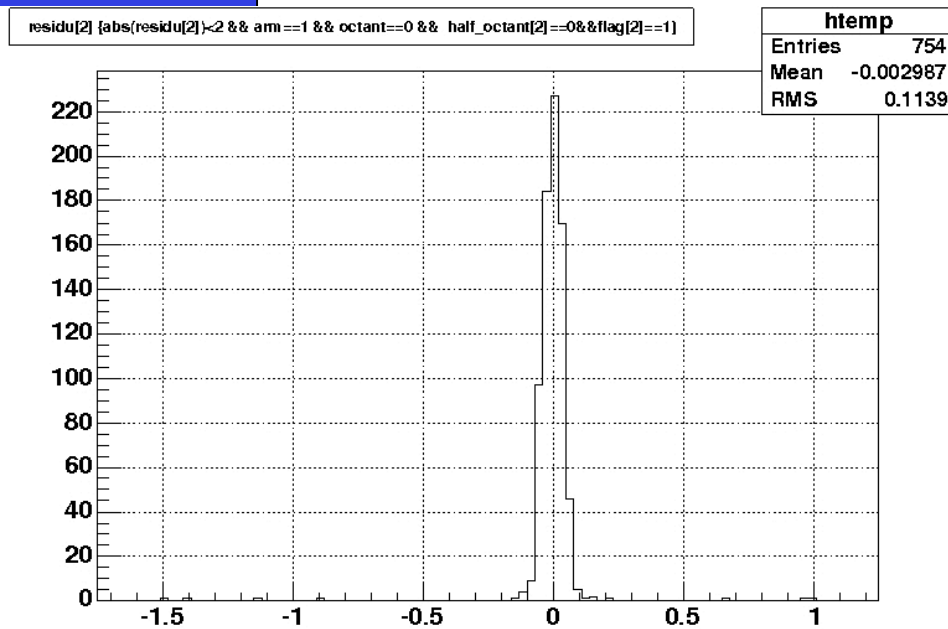
sensible à un désalignement en x et y

Sans désalignement

Désalignement:  $\delta x = 0.1\text{cm}$ ,  $\delta y = 0.1\text{cm}$

➤ Bras nord, station 0, chambre 1

➤ Détecteur désactivé avant reconstruction



# Dépendance des paramètres d'alignement [3/4]

✓ Résidus vs  $w_{fit}$   $\partial\langle\Delta w\rangle/\partial w$

sensible à un désalignement en  $z$

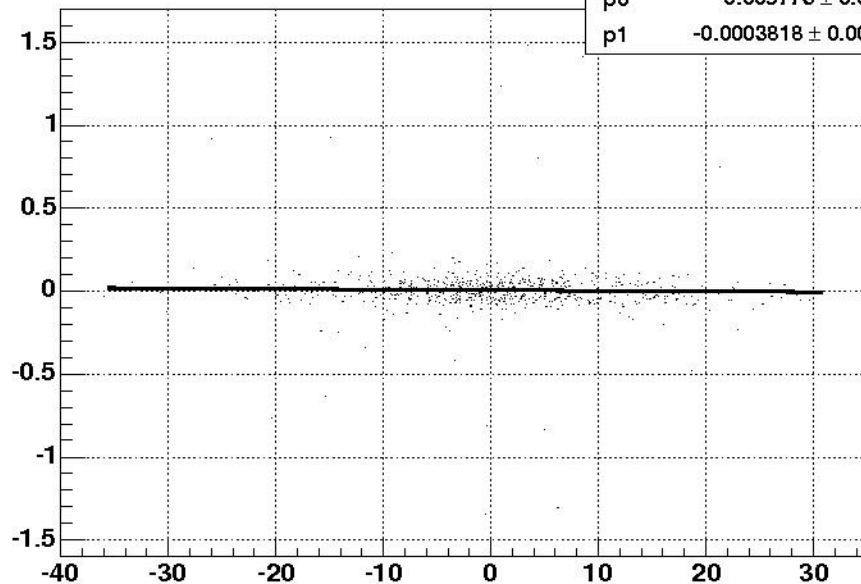
Sans désalignement

Désalignement:  $\delta z = 10cm$

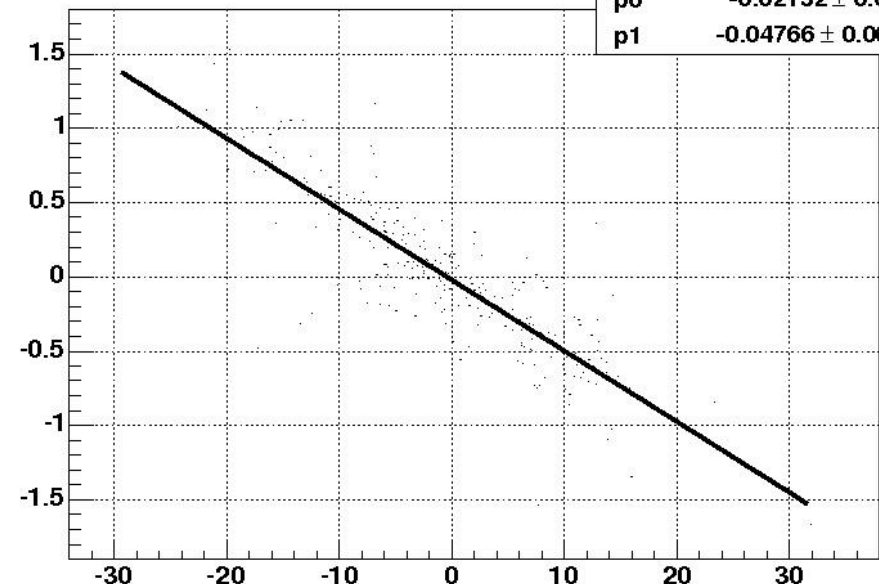
➤ Bras nord, station 0, chambre 1

➤ Détecteur désactivé avant reconstruction

residu[2]:w_fit[2] (abs(residu[2])<2 && arm==0 && half_octant[2]==0 && t	$\chi^2 / \text{ndf}$	23.33 / 950
	p0	0.005773 ± 0.005085
	p1	-0.0003818 ± 0.0004882



residu[2]:w_fit[2] (abs(residu[2])<2 && arm==1 && half_octant[2]==0 && t	$\chi^2 / \text{ndf}$	20.72 / 391
	p0	-0.02132 ± 0.01172
	p1	-0.04766 ± 0.001281



# Dépendance des paramètres d'alignement [4/4]

✓ Résidus vs  $v_{fit}$   $\partial\langle\Delta w\rangle/\partial v$

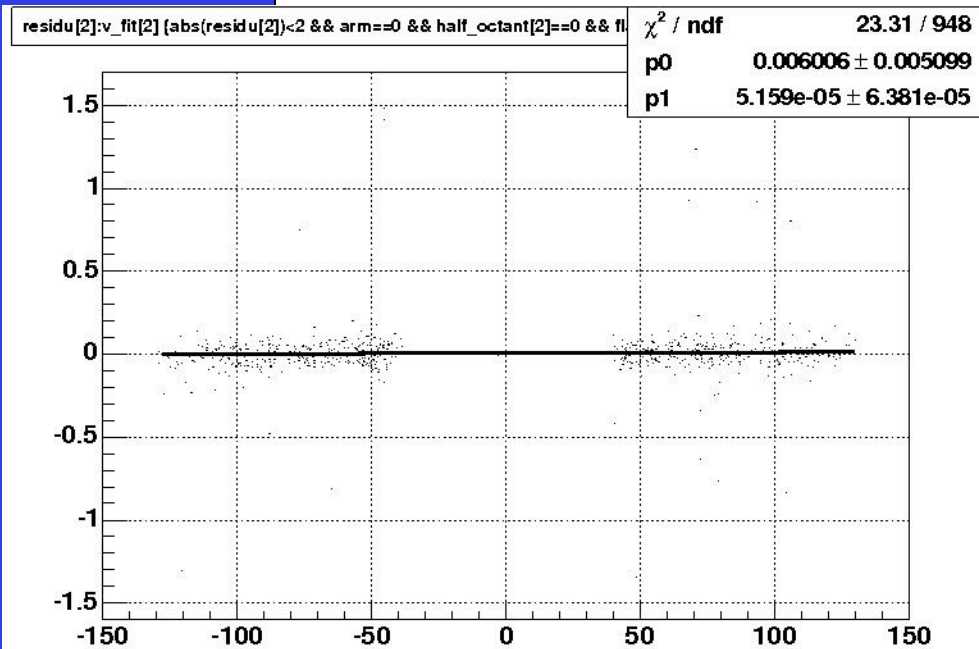
sensible à un désalignement en  $\varphi$

Sans désalignement

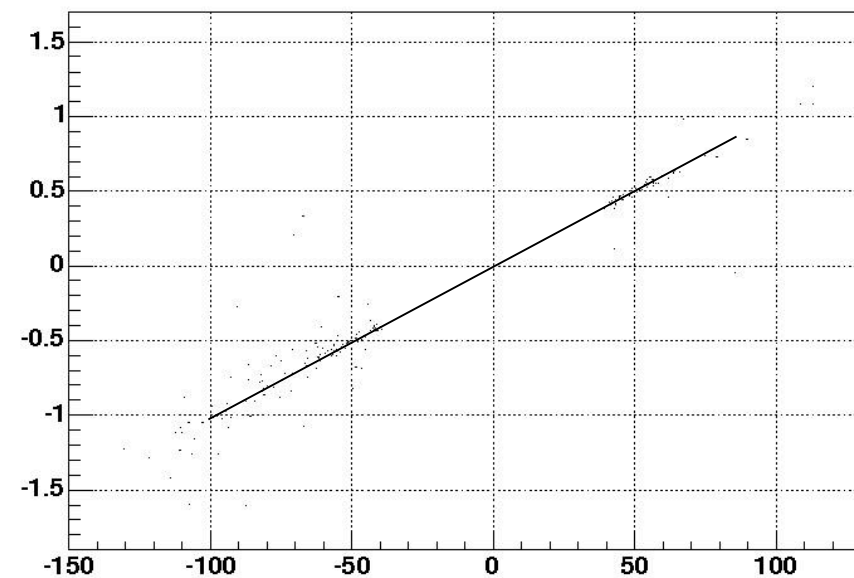
Désalignement:  $\delta\varphi = 0.01^\circ$

➤ Bras nord, station 0, chambre 1

➤ Détecteur désactivé avant reconstruction



residu[3]:v\_fit[3] [abs(residu[3])<2 && arm==1 && half\_octant[3]==0 && flag[3]==1}



## Contraintes sur l'alignement

### ✓ Contraintes pour empêcher des transformations globales

#### ◦ Fixer des détecteurs de références

$\delta w$  > 4 détecteurs fixés pour empêcher  $\delta x, \delta y = cte$  et  $\delta x(z), \delta y(z) \propto z$

$\delta z$  > 2 détecteurs fixés pour empêcher  $\delta z = cte$  et  $\delta z(z) \propto z$

$\delta \varphi$  > 2 détecteurs fixés pour empêcher  $\delta \varphi = cte$  et  $\delta \varphi(z) \propto z$

#### ◦ Dans la pratique

- > 2 premiers et 2 derniers plans de cathodes de chaque bras, pour tous les paramètres d'alignement

Plan

But

Spectromètre

Méthode

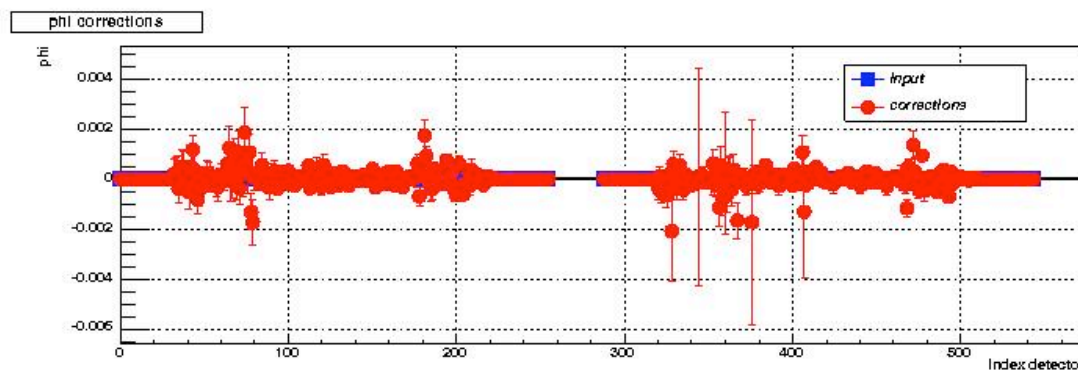
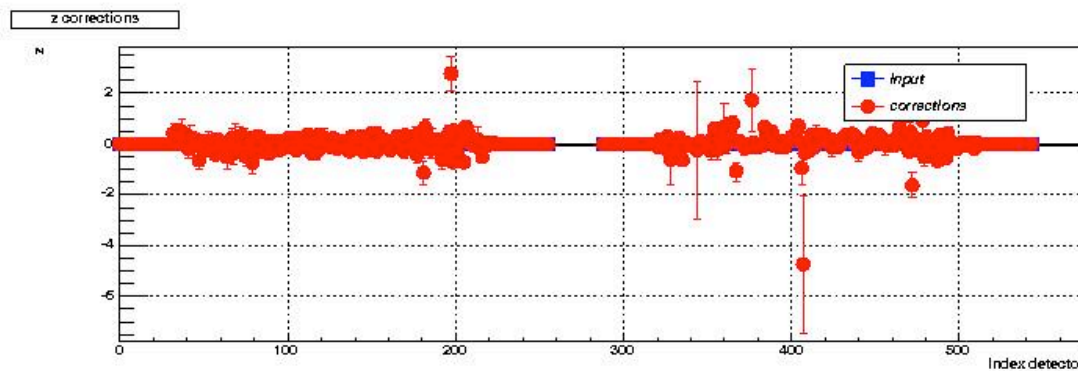
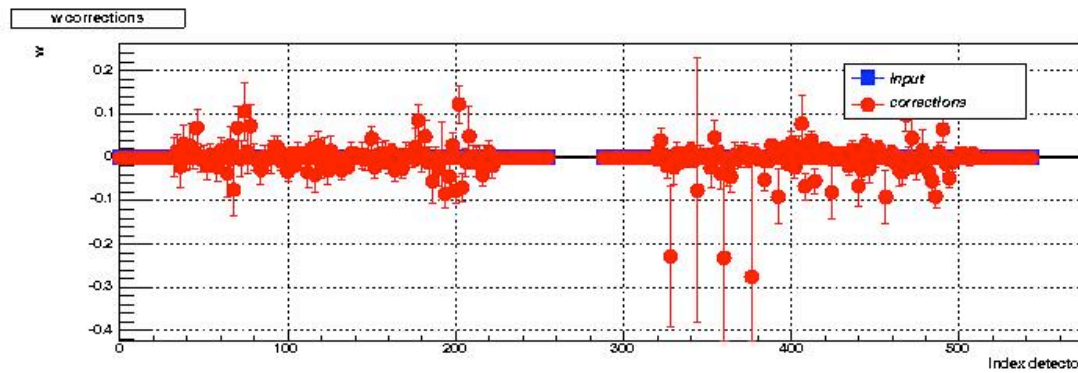
Contraintes

Résultats

Futur

# Simulation sans désalignement

## ✓ Offsets



## Simulation:

utilisation de fichiers Pythia de J/Psi purs, sans champ magnétique;

détecteurs parfaitement alignés

## Problème:

- . octant 4 station 1 nord
- . petits offsets systematiques mal compris (station 2 nord)

Plan

But

Spectromètre

Méthode

Contraintes

Résultats

Simulation

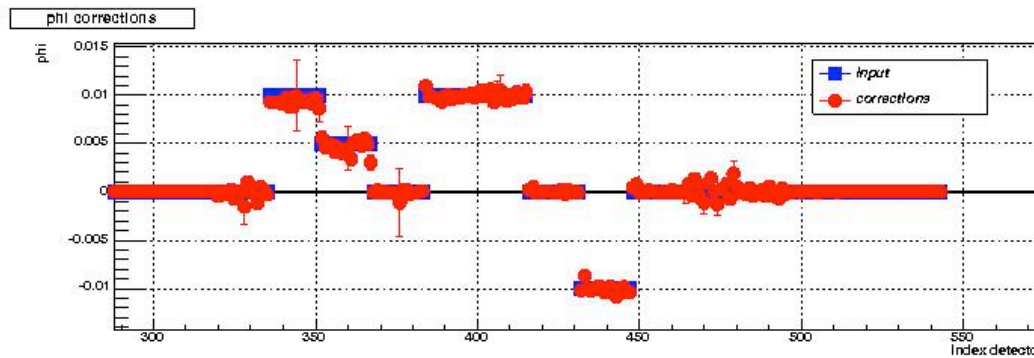
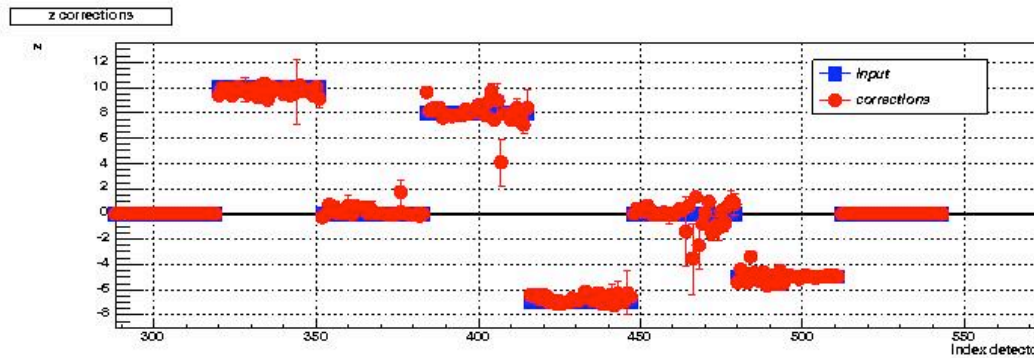
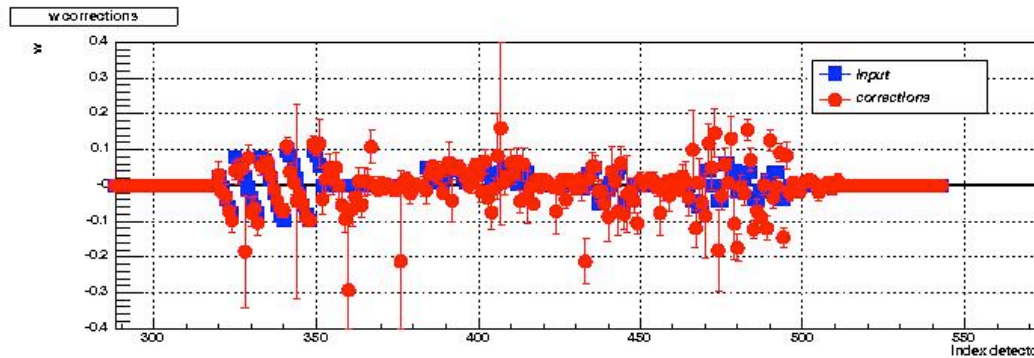
Réelles

Futur

# Simulation avec un désalignement aléatoire [1/2]

Plan  
 But  
 Spectromètre  
 Méthode  
 Contraintes  
 Résultats  
 Simulation  
 Réelles  
 Futur

## ✓ Offsets



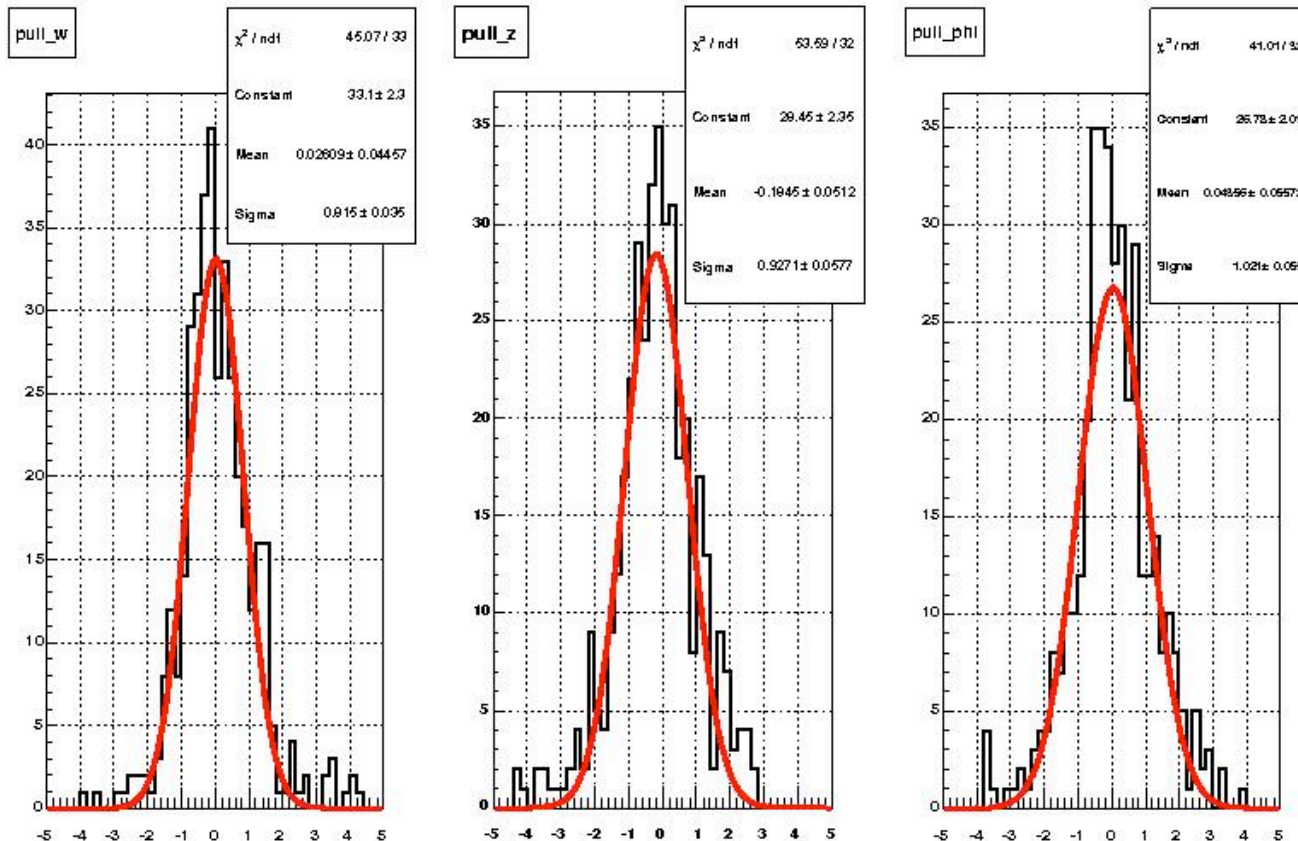
## o Simulation:

- utilisation de fichiers Pythia de J/Psi purs, sans champ magnétique

- des désalignements ont été introduits à la main avant la reconstruction à partir d'un fichier texte

# Simulation avec un désalignement aléatoire [2/2]

## ✓ Pulls



$$\frac{\Delta w_{true} - \Delta w_{reco}}{\delta \Delta w}$$

$$\frac{\Delta z_{true} - \Delta z_{reco}}{\delta \Delta z}$$

$$\frac{\Delta \varphi_{true} - \Delta \varphi_{reco}}{\delta \Delta \varphi}$$

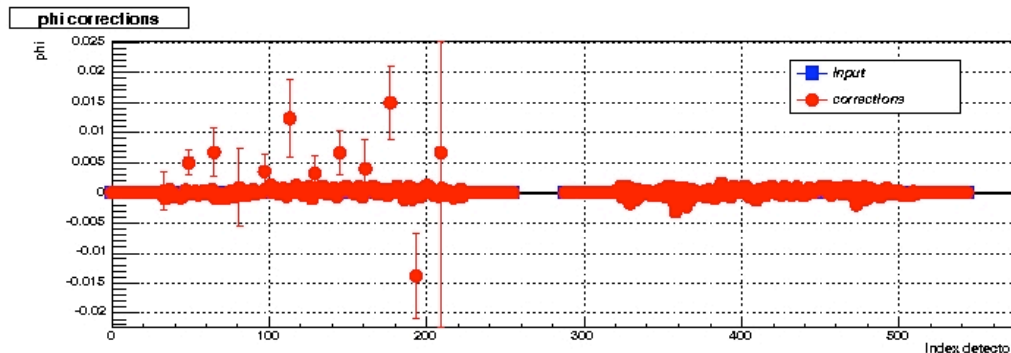
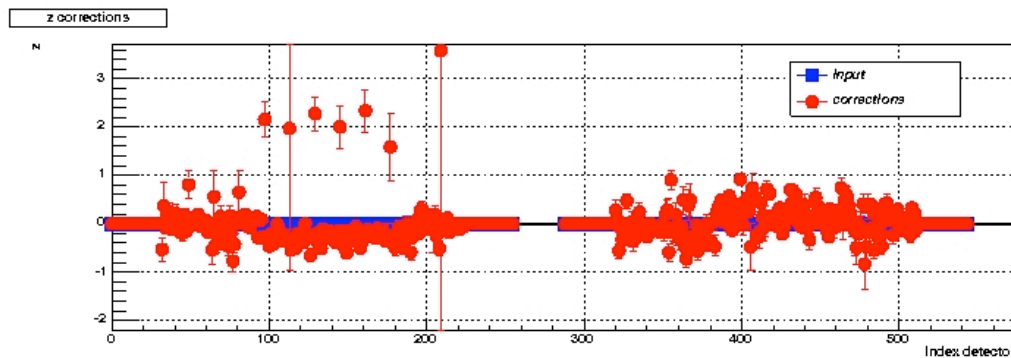
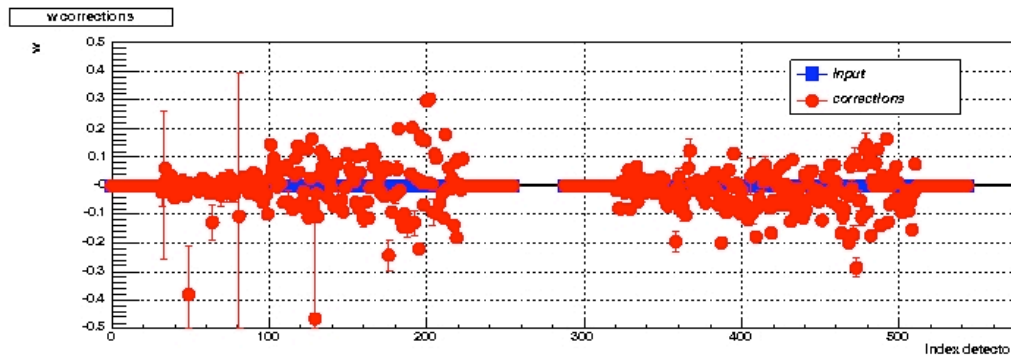
Alignement pas parfait, mais résultats statistiquement corrects

- seulement une reconstruction
- statistique optimale: 8000 évènements, 10 fichiers (6h)

Plan  
But  
Spectromètre  
Méthode  
Contraintes  
Résultats  
Simulation  
Réelles  
Futur

# Désalignements observés sur les données réelles

## ✓ Offsets



o **Données réelles:**

utilisation des données proton-proton de la prise de données 4 (run 4)

Ordre de grandeur des désalignements raisonable

Plan

But

Spectromètre

Méthode

Contraintes

Résultats

Simulation

Réelles

Futur



Plan

But

Spectromètre

Méthode

Contraintes

Résultats

Futur

- ✓ **2<sup>e</sup> étape des données réelles:**
  - **Introduction des désalignements**
    - Distribution des pulls ?
    - Amélioration de la qualité des traces ?
  
- ✓ **Alignement sans champ magnétique avec le MuID**
  
- ✓ **Simulation avec champ magnétique**
  
- ✓ **Données réelles avec champ magnétique**
  - **Nombre et qualité des traces reconstruites par événement avant / après l'alignement**
  - **Évaluer l'impact sur la résolution de la masse invariante du J/Psi: amélioration ?**
  - **Amélioration de la distribution du DG0**

# *Algorithme détaillé*

## Single Track Minimization 2/2

### Minimization

$$-\frac{1}{2} \frac{\partial \chi^2}{\partial \alpha_i} = \sum_j \frac{1}{\sigma_j^2} \left( \frac{\partial w_j}{\partial \alpha_i} w_{\text{det}} - \sum_k \frac{\partial w_j}{\partial \alpha_i} \frac{\partial w_j}{\partial \alpha_k} \alpha_k \right) = 0$$

### Resulting

$$\begin{pmatrix} \sum_j \frac{1}{\sigma_j^2} \frac{\partial w_j}{\partial \alpha_1} \frac{\partial w_j}{\partial \alpha_1} & \dots & \sum_j \frac{1}{\sigma_j^2} \frac{\partial w_j}{\partial \alpha_1} \frac{\partial w_j}{\partial \alpha_i} & \dots \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots \\ \sum_j \frac{1}{\sigma_j^2} \frac{\partial w_j}{\partial \alpha_i} \frac{\partial w_j}{\partial \alpha_1} & \dots & \sum_j \frac{1}{\sigma_j^2} \frac{\partial w_j}{\partial \alpha_i} \frac{\partial w_j}{\partial \alpha_i} & \dots \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \vdots \\ \alpha_i \\ \vdots \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} \sum_j \frac{1}{\sigma_j^2} \frac{\partial w_j}{\partial \alpha_1} w_j^0 \\ \vdots \\ \sum_j \frac{1}{\sigma_j^2} \frac{\partial w_j}{\partial \alpha_i} w_j^0 \\ \vdots \end{pmatrix}$$

## Global minimization 1/2

### ✓ Minimizing a set of n tracks

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \chi_i^2$$

It depends on a different set of track parameters for each track, and a single set of alignment parameters  $\implies$  the related matrix system can be inverted if a number large enough of tracks is considered.

$$\begin{pmatrix} \sum C_i & \cdots & G_i & \cdots \\ \vdots & \ddots & 0 & 0 \\ G_i^T & 0 & \Gamma_i & 0 \\ \vdots & 0 & 0 & \ddots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_a \\ \vdots \\ \alpha_{t,i} \\ \vdots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum b_i \\ \vdots \\ \beta_i \\ \vdots \end{pmatrix}$$

$C_i$  and  $b_i$  depend only on  $\partial w_j / \partial \alpha_a$

$\Gamma_i, \beta_i$  depend only on  $\partial w_j / \partial \alpha_{trk}$

$G_i$  includes mixed terms of  $(\partial w_j / \partial \alpha_a)(\partial w_j / \partial \alpha_{trk})$

The 0 come from the independency between the tracks

4 param/tracks  
2000tracks  
3 param/detect  
576 detectors  

---

matrix dimension  
 $4 \times 20000 + 3 \times 576$  !

The matrix structure allows to invert only  
**20000 matrices (4×4) + 1 matrix 2148 × 2148**

## Matrix inversion

### Reduced system

alignment parameters  $\alpha_a = C'^{-1} b'$

$$\text{with } C' = \sum_i C_i - \sum_i G_i \Gamma_i^{-1} G_i^T \quad b' = \sum_i b_i - \sum_i G_i \Gamma_i^{-1} \beta_i^T$$

See reference: <http://www.desy.de/~blobel/wwwmille.html>

## How to get the derivatives ?

$$w_{fit}(z_{det}) = \left[ \begin{array}{l} \cos(\theta_{det} + \delta\theta) [x_0 + tx_0(z_{det} + \delta z - z_0)] \\ \sin(\theta_{det} + \delta\theta) [y_0 + ty_0(z_{det} + \delta z - z_0)] \end{array} \right] + \delta w$$

### Track parameters:

track coordinates at z: (x,y)

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \cos \theta_{det}$$

$$\frac{\partial w}{\partial y} = \sin \theta_{det}$$

track angle: (tx,ty)

$$\frac{\partial w}{\partial tx} = \cos \theta_{det} (z_{det} - z_0)$$

$$\frac{\partial w}{\partial ty} = \sin \theta_{det} (z_{det} - z_0)$$

### Alignment parameters:

$$\frac{\partial w}{\partial \delta w} = -1$$

$$\frac{\partial w}{\partial \delta z} = tx_0 \cos \theta + ty_0 \sin \theta$$

$$\frac{\partial w}{\partial \delta \theta} = -\sin [x_0 + tx_0(z_{det} - z_0)] + \cos \theta [y_0 + ty_0(z_{det} - z_0)]$$

## ✓ Aligned track coordinates for one detector

$$w_{fit}(z_j) = \left[ \begin{array}{l} \cos(\theta_{det} + \delta\theta) \left[ x_{0,j} + tx_j \delta z + \delta x_0 + \delta tx_0 (z_j + \delta z - z_0) \right] \\ \sin(\theta_{det} + \delta\theta) \left[ y_{0,j} + ty_j \delta z + \delta y_0 + \delta ty_0 (z_j + \delta z - z_0) \right] \end{array} \right] + \delta w$$

**Hypothesis**  $\Delta w_{fit}$  is linear with  $z$

The expression of the derivatives is equal to the one without field except for the use of **local** track parameters

The measurement is now  $\Delta w_{fit}$  instead of  $w_{fit}$

## Summary of the Method

20 000 events needed to have very accurate results

Calculate track parameters derivatives  $\partial res_{trk,det} / \partial \alpha_{a,det}$

Calculate detectors parameters derivatives  $\partial res_{trk,det} / \partial \alpha_{trk,det}$

Invert matrix



- ✓ Paramètres de trace (cas de traces droites)

- $(x_0, y_0)$  et  $(t_{x,0}, t_{y,0})$  seront regroupés sous  $\alpha_{trk}$

- ✓ Notation

- Les paramètres d'alignement seront notés  $\alpha_a$

- ✓ Minimization d'une trace

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^{n_{det}} \frac{|w_{det} - w_{fit}(\alpha_{trk}, \alpha_a)|^2}{\sigma_j^2}$$

- Pour chaque détecteur on veut que la différence entre le coup mesuré et le coup résultant de l'ajustement soit la plus petite possible

- ✓ Hypothèse

- $w_{fit}$  dépend linéairement des paramètres de traces  $\alpha_{trk}$  et d'alignement  $\alpha_a$

$$w_{fit} = \sum_k \frac{\partial w_{fit}}{\partial \alpha_k} \alpha_k$$

### ✓ Critères absolus

- Vérification que les paramètres  $\langle \Delta w \rangle$ ,  $\partial \langle \Delta w \rangle / \partial w$  et  $\partial \langle \Delta w \rangle / \partial \nu$  sont nuls.

### ✓ Critères relatifs

- Nombre et qualité des traces reconstruites par événement avant / après l'alignement
- Amélioration de la résolution de la masse du J/Psi après alignement

### ✓ Comparaison directe

- Estimation sur des données simulées: comparaison entre les valeurs des désalignements introduits à la main et ceux obtenus après alignement