



## *Reconstruction D'évènements*

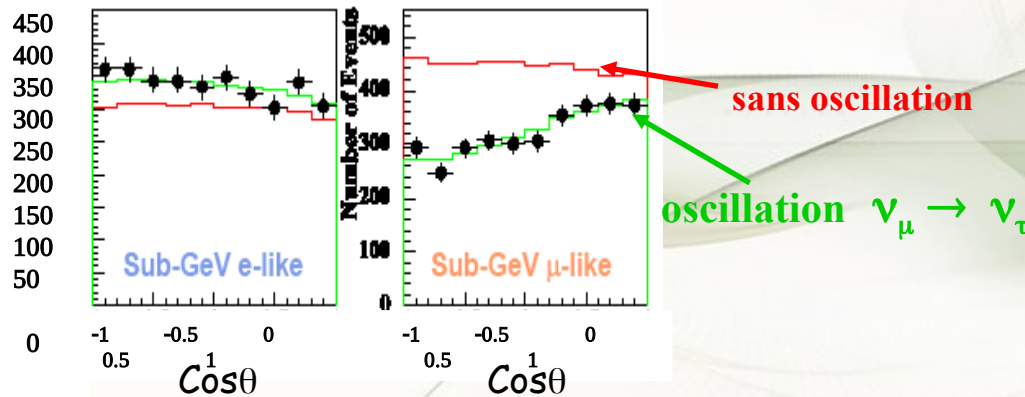
$$\nu_{\tau} \rightarrow \tau \rightarrow 3\text{hadrons}$$

# Plan

- L'expérience OPERA.
- Étude de reconstruction de vertex  $\nu_\mu$  CC
- Étude de reconstruction du canal  $\nu_\tau \rightarrow \tau \rightarrow 3 \text{ hadrons}$
- Recherche de vertex au milieu du bruit de fond

# Pourquoi OPERA ?

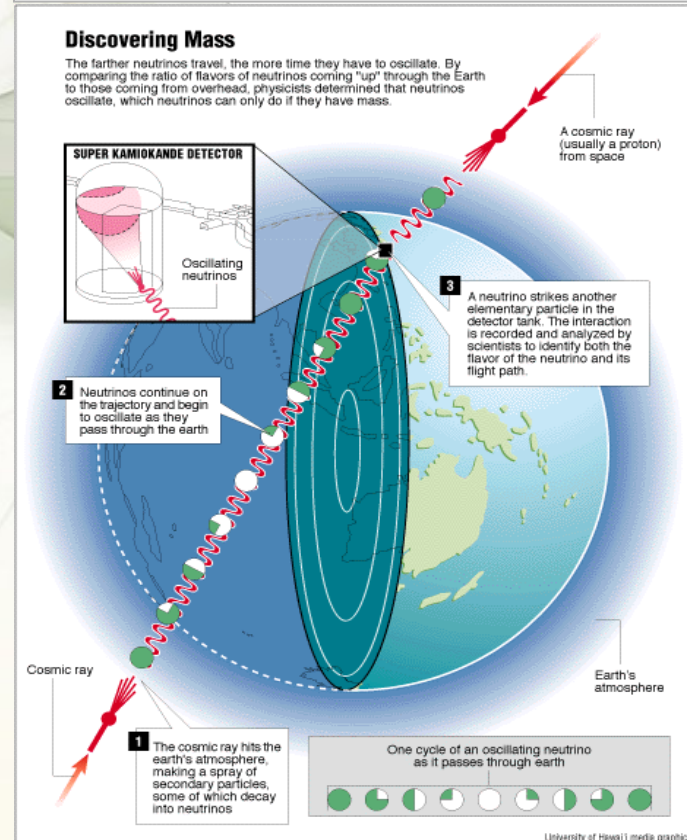
- Fait suite aux résultats de l'expérience Super-Kamiokande
- SK montre une variation de la répartition zénithale des neutrinos muoniques



## OPERA :

- Son but : montrer de manière irréfutable l'oscillation  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$
- La seule expérience d'apparition.

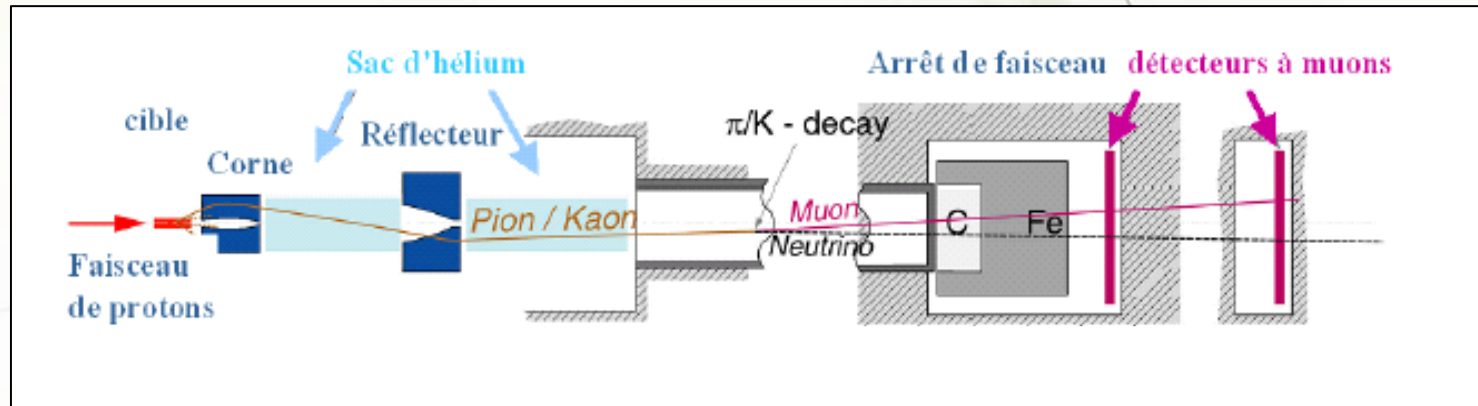
$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau) = \sin^2(2\theta_{23}) \sin^2\left(1.27 \frac{\Delta m_{23}^2 L}{E}\right)$$



# OPERA

## *Le faisceau*

- Faisceau de neutrinos  $\mu$  produit au CERN à partir de protons de 400GeV

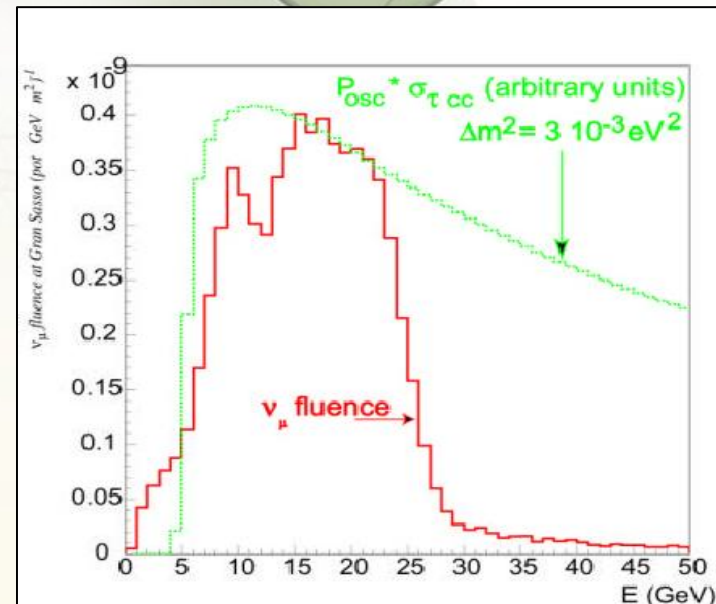


- Une énergie moyenne de 17Gev
- 98% des neutrinos ont  $E > 3.5 \text{ GeV}$

Source de neutrinos  $\mu$  :

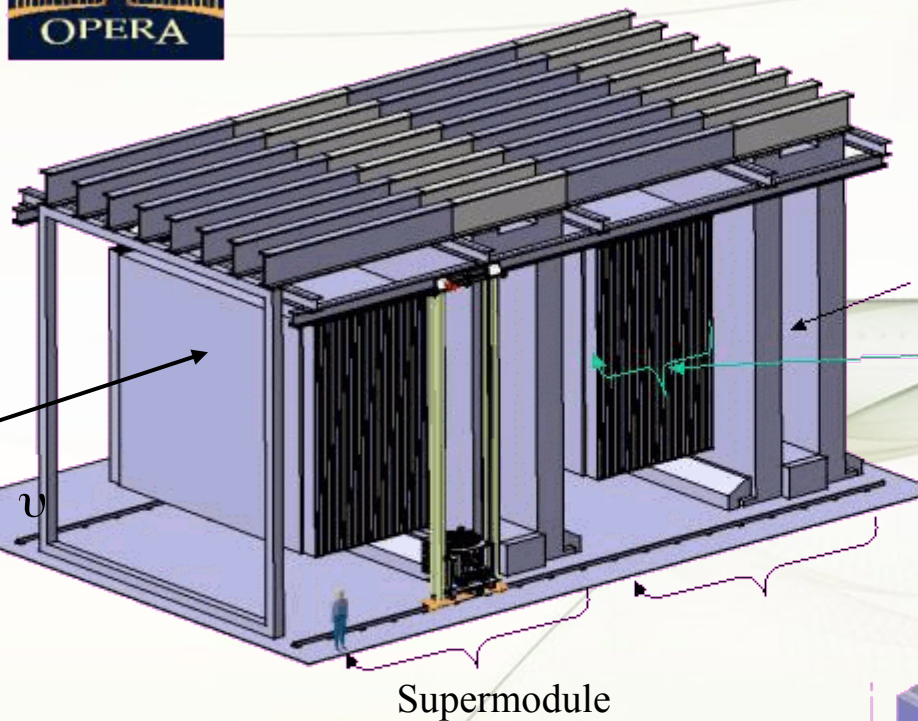
$$\bullet \pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

$$\bullet K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$



# OPERA

## *Le détecteur*

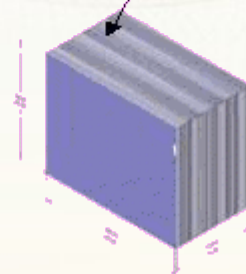


Cible totale :  $\sim 1.8$  kT  
(206336 briques)

Spectromètre

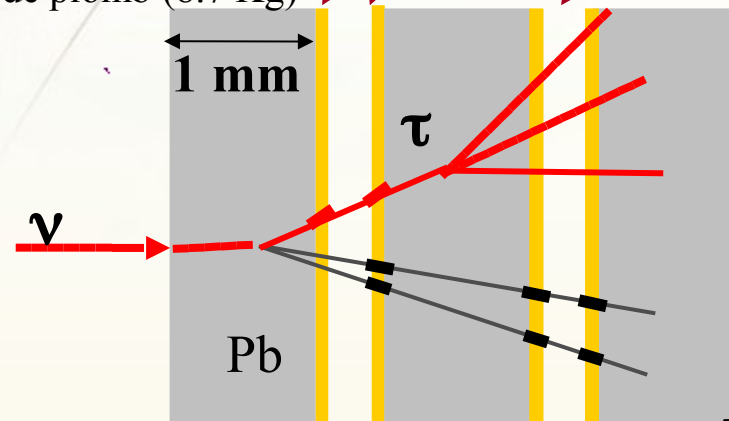
31 murs pouvant contenir  
3328 briques chacun  
+ photomultiplicateurs

Brique contenant :  
57 émulsions  
56 feuilles de plomb (8.7 Kg)



*émulsions*  
**45  $\mu\text{m}$**

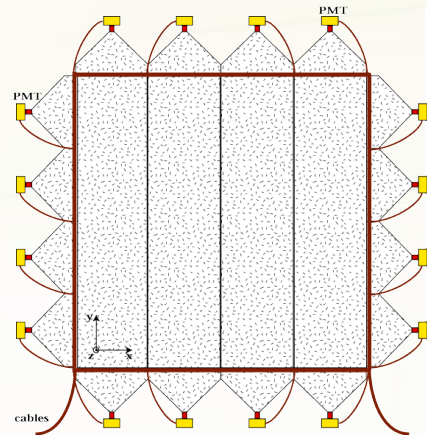
*Base plastique de*  
**200  $\mu\text{m}$**



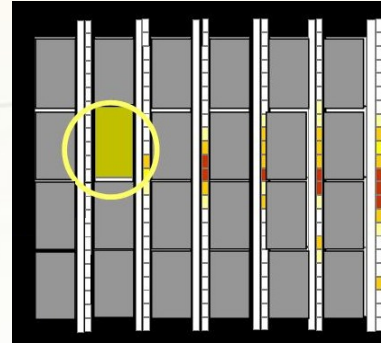


# OPERA

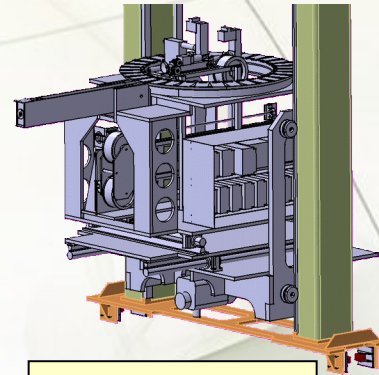
## *La détection*



Détection électronique  
(scintillateur/spectromètre)



Détermination  
de la brique



Extraction



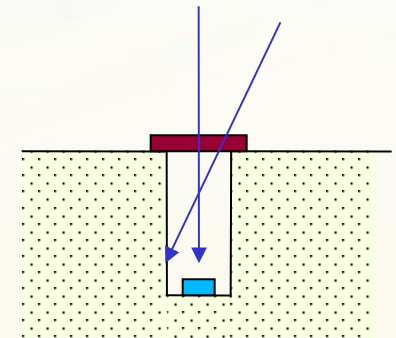
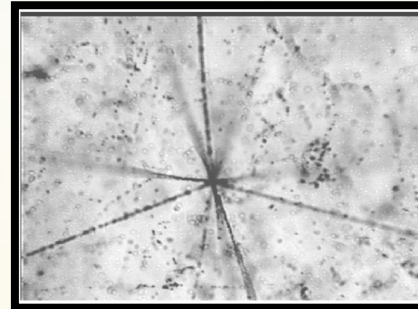
Test de la feuille  
amovible

Reconstruction  
et Analyse

Scanning

Développement

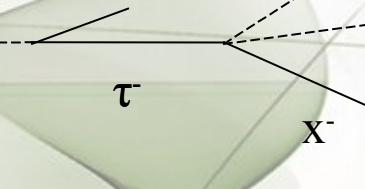
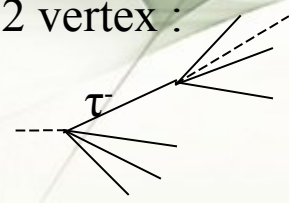
Exposition  
Aux rayons  
cosmiques



# OPERA

## *La détection du $\nu_\tau$*

- De manière indirecte via le lepton tau issu de l'interaction du neutrino avec le plomb.
- Majoritairement par les produits de désintégration du tau.

$\tau^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu + \nu_\tau$	17.36%	1 vertex + 1 kink : 
$\tau^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\tau$	17.84%	
$\tau^- \rightarrow h^- + \nu_\tau (+n\pi^0)$	49.22%	
$\tau^- \rightarrow h^- h^- h^+ \nu_\tau (+n\pi^0)$	15.19%	2 vertex : 

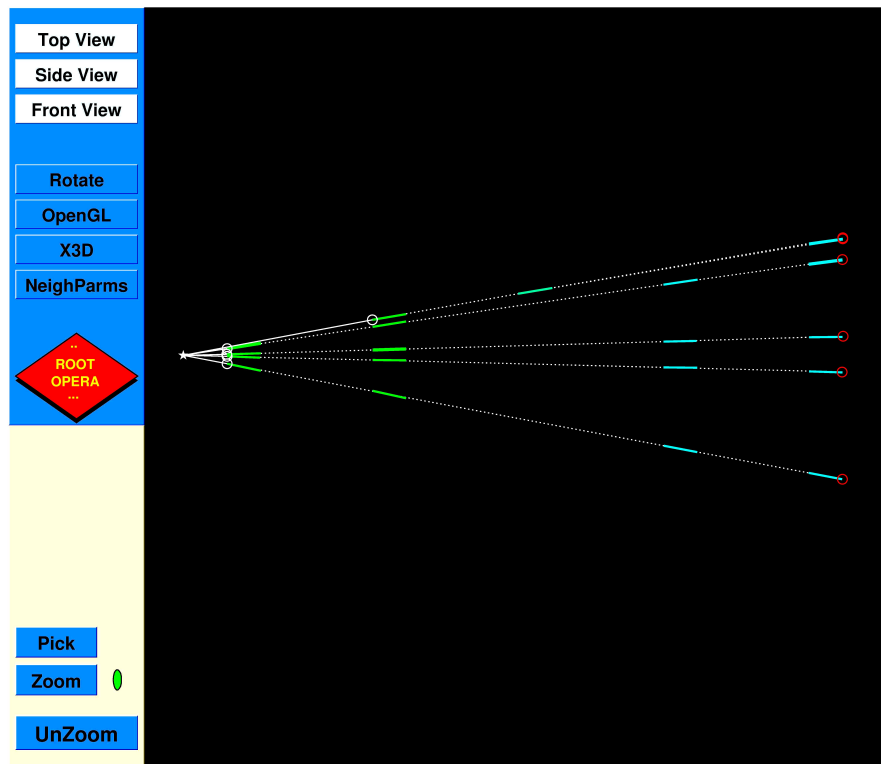
Source : PDG 2005

# Procédure

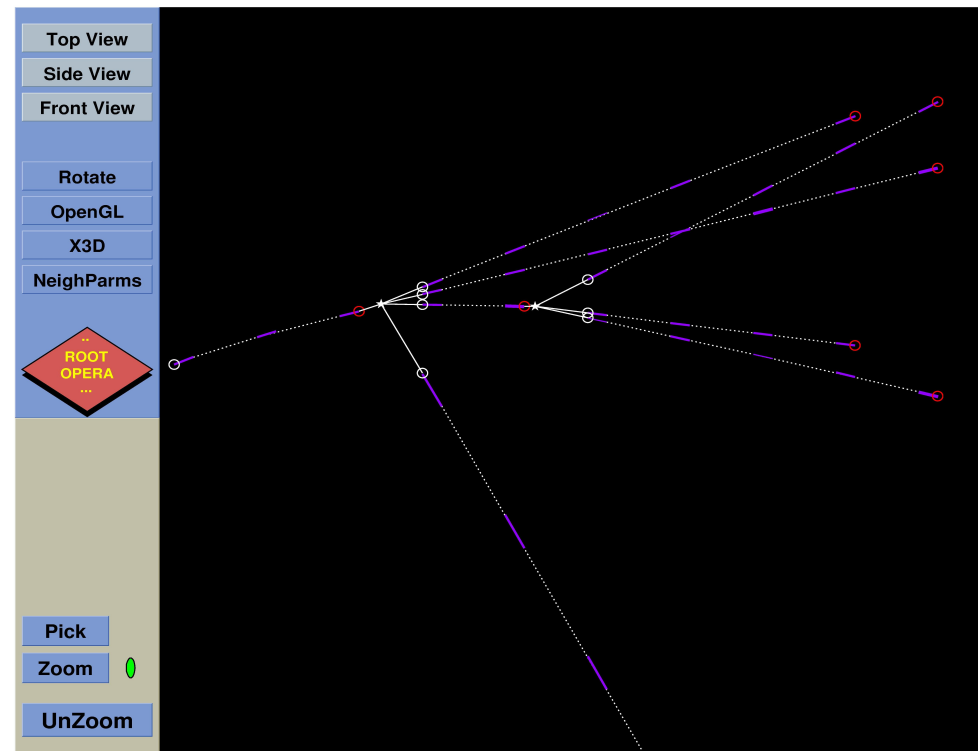
- Génération d'événements → Simulation du détecteur → reconstruction → Comparaison simulation/reconstruction
- Simulation du bruit de fond de rayonnement cosmique introduit pour l'alignement des émulsions
- Etude en deux étapes :
  - Interaction  $\nu_\mu$  CC (1 vertex)
  - Interaction  $\nu_\tau$  CC (2 vertex)



# Exemple d'événements



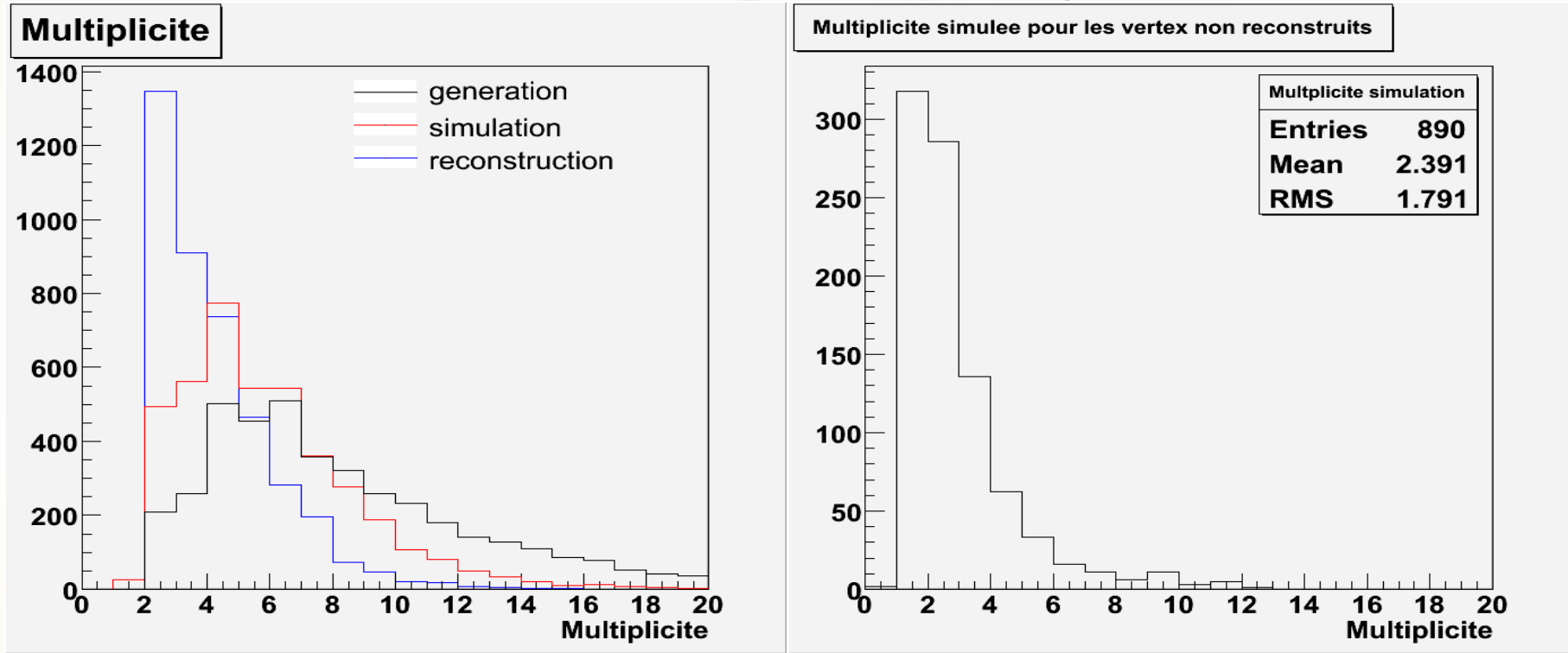
Interaction  $v_\mu$  CC (1 vertex)



Interaction  $v_\tau$  CC (2 vertex)

# $\nu_\mu$ CC sans bruit de fond

## *Multiplicité*



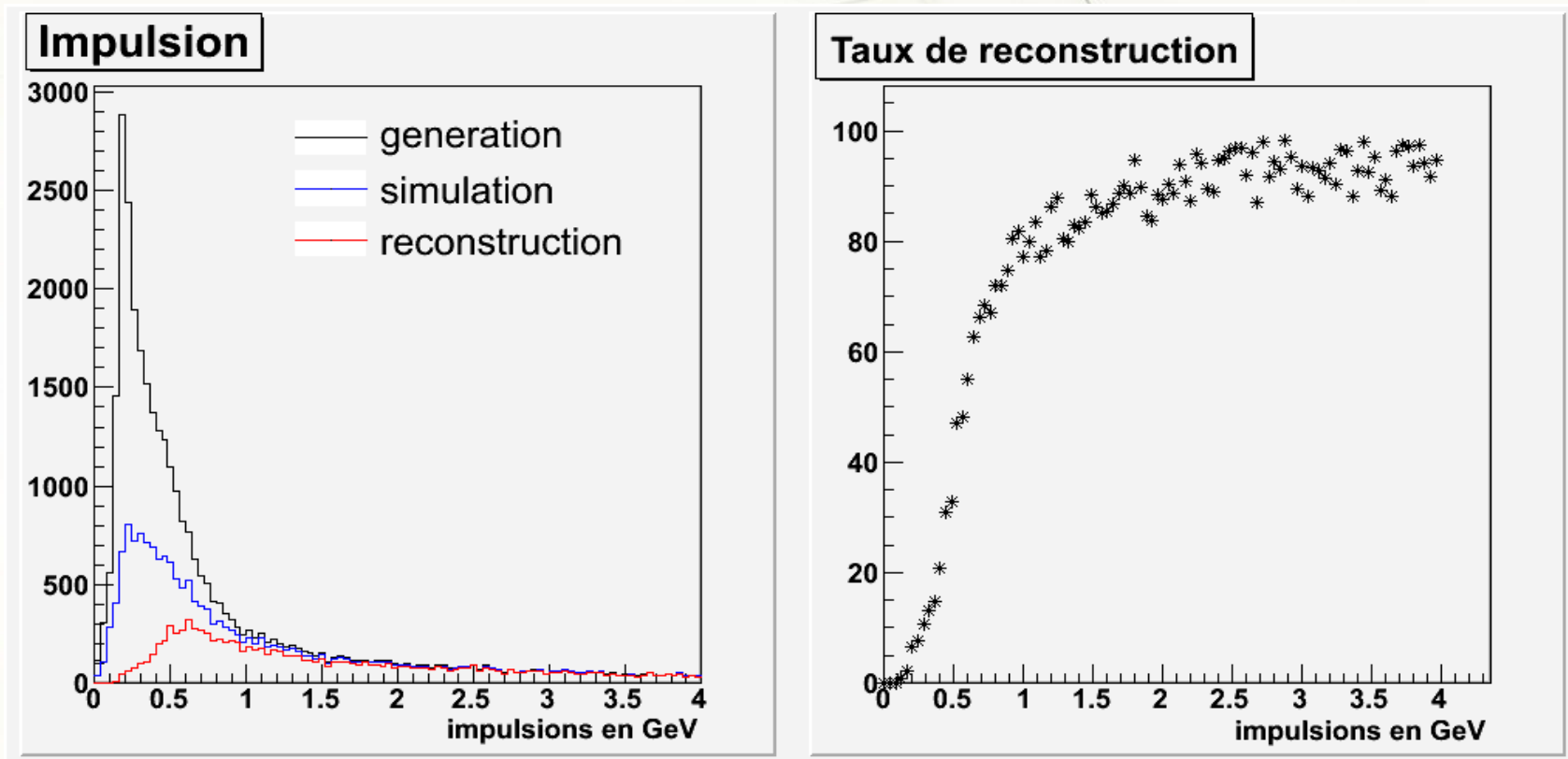
Multiplicité moyenne :

Génération	7.6
Simulation	6.7
Reconstruction	3.7

A étudier

# $\nu_\mu$ CC sans bruit de fond

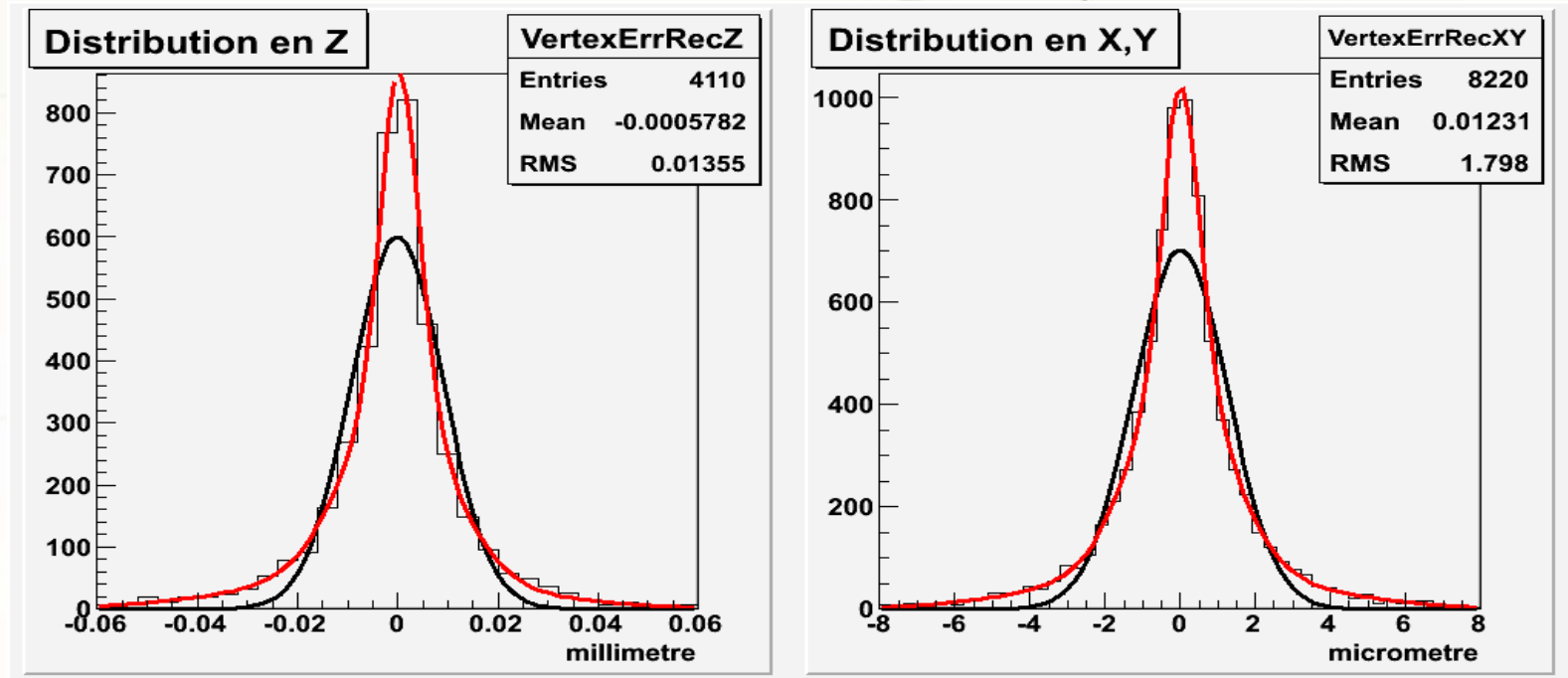
## *Distribution d'impulsion*



	$P < 0.7 \text{ GeV}/c$	$P > 0.7 \text{ GeV}/c$
Traces perdues à la simulation	56%	7%
Traces perdues à la reconstruction	72%	15%
Traces perdues au total	88%	21%

# $v_\mu$ CC sans bruit de fond

## *Résolution spatiale*



3 sous populations distinguées par la distance traces/vertex

	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$
$\sigma_{xy}$	$0.4 \pm 0.1$	$1.1 \pm 0.1$	$2.8 \pm 0.2$
$\sigma_z$	$3.2 \pm 0.4$	$10.9 \pm 0.7$	$29 \pm 2$

$$\sigma_z = 10 \sigma_{xy}$$

# $\nu_\mu$ CC sans bruit de fond

## *Pureté et efficacité de reconstruction*

Sans bruit de fond (5000 événements) :

Événement simulé avec au moins deux traces	4589
Événement reconstruits	4110
Événement bon	3336
Efficacité	$(73 \pm 1)\%$
Pureté	$(81 \pm 2)\%$

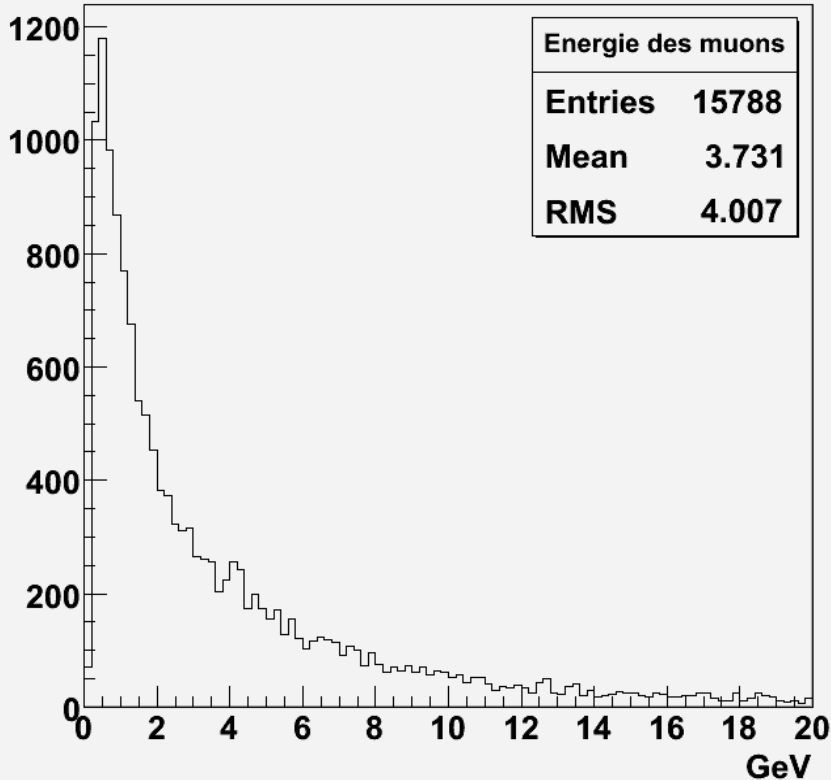


# Le bruit de fond cosmique

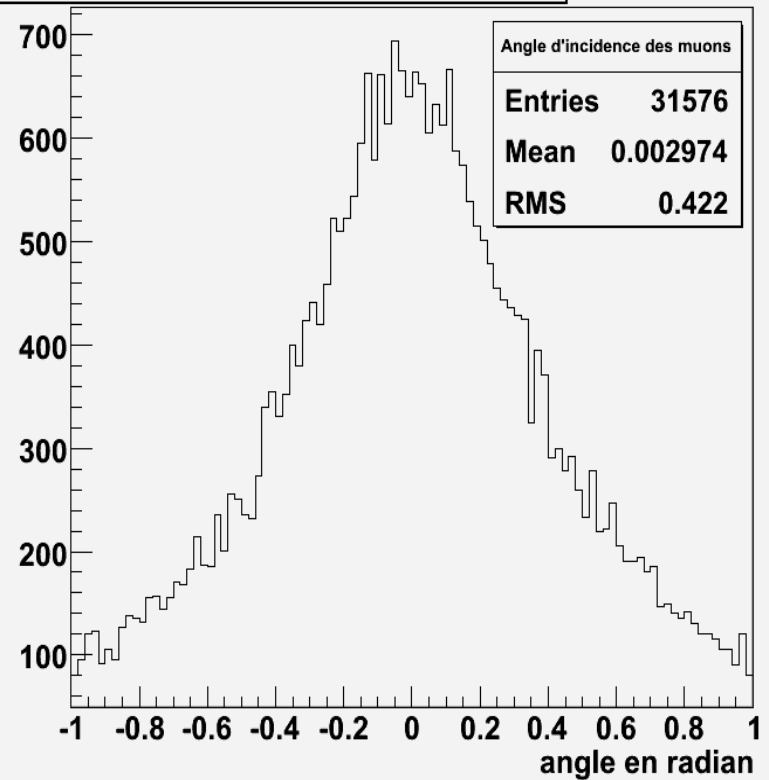
Provient de l'exposition des briques pour le l'alignement

- Principalement des muons
- 4 traces par  $\text{mm}^2$
- Energie moyenne de 4 GeV

Energie des muons



Angle d'incidence des muons



# $\nu_\mu$ CC avec bruit de fond

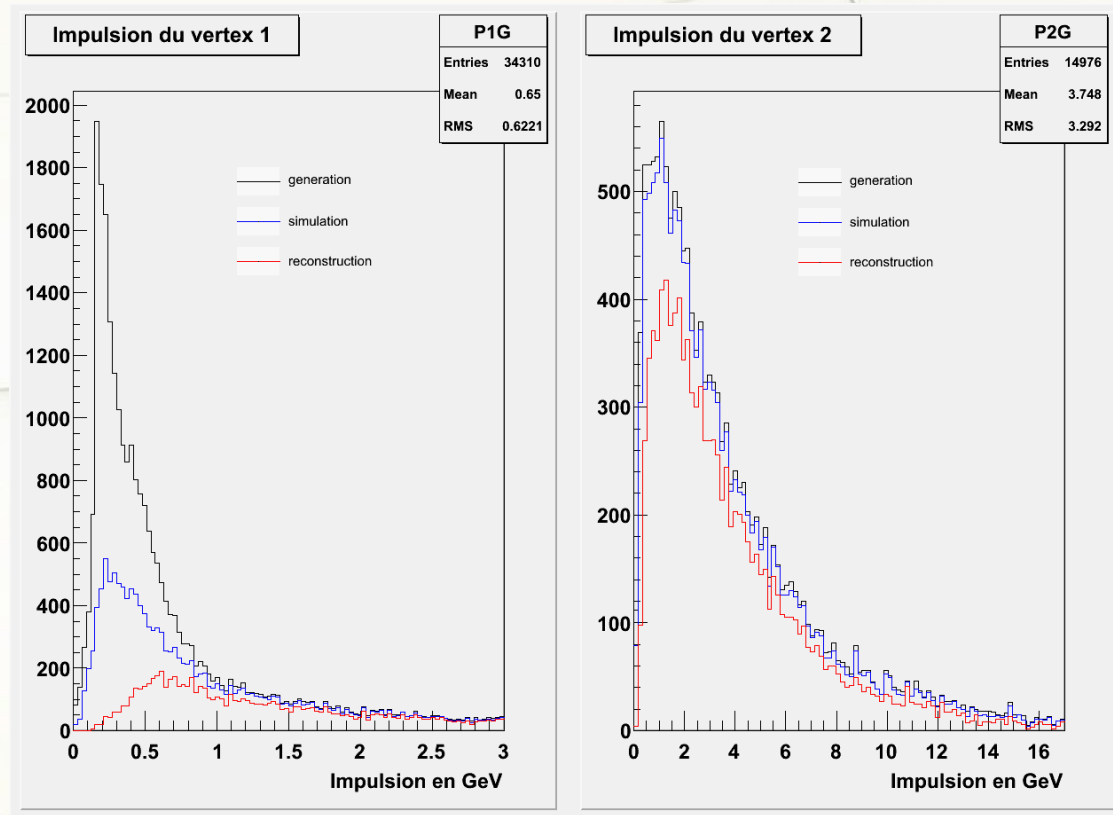
## *Pureté et efficacité de reconstruction*

Avec bruit de fond (3000 et 1000 événements) :

	Bruit de font à 4 GeV	Bruit de fond réel
Evènement simulé avec au moins deux traces	2742	915
Evènement reconstruits	2464	811
Evènement bon	1945	665
Efficacité	$(71 \pm 2)\%$	$(73 \pm 4)\%$
Pureté	$(79 \pm 1)\%$	$(82 \pm 2)\%$

# $\nu_\tau$ CC sans bruit de fond

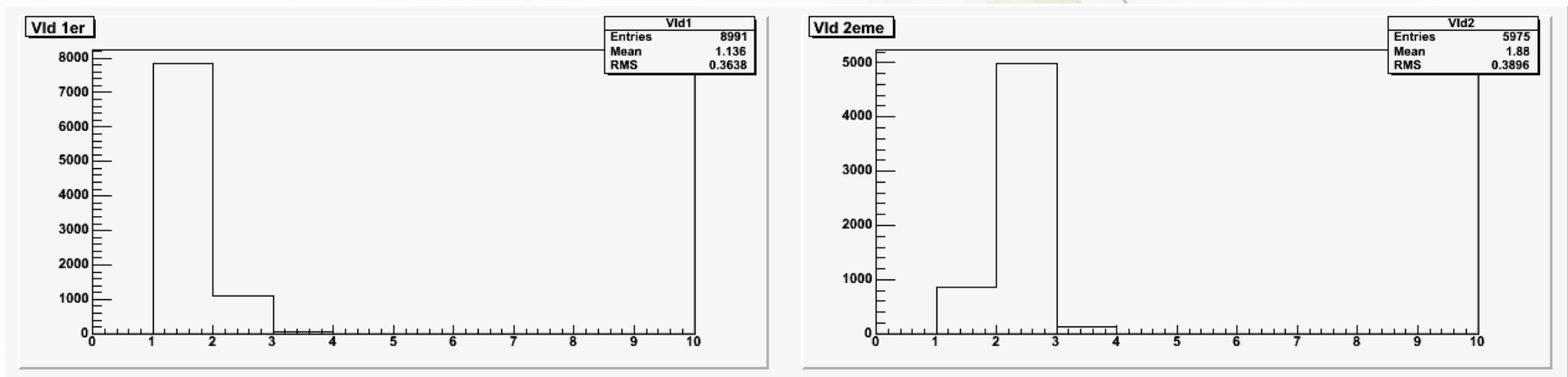
## *Distribution d'impulsion*



	1er vertex (P<0.7Gev)	2e vertex
Traces perdues à la simulation	57%	4%
Traces perdues à la reconstruction	75%	22%
Traces perdues au total	89%	25%

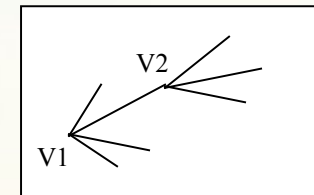
# $v_\tau$ CC sans bruit de fond

*Vertex d'origine des traces rattachées à chaque vertex reconstruit*



Erreur de rattachement des traces du même ordre pour les deux vertex :

Vertex 1	1155/8991 (12%)
Vertex 2	922/5975 (15%)



## Sans bruit de fond (5000 evts):

	Nombre D'événements simulés	Nombre d'événements reconstruits	Nombre D'événements purs	$\varepsilon$	$\pi$
Type 1	3859	1606	856	22% (1%)	53% (2%)
Type 2	3639	988	744	20% (1%)	75% (4%)

## Avec bruit de fond 4 GeV (3000 evts):

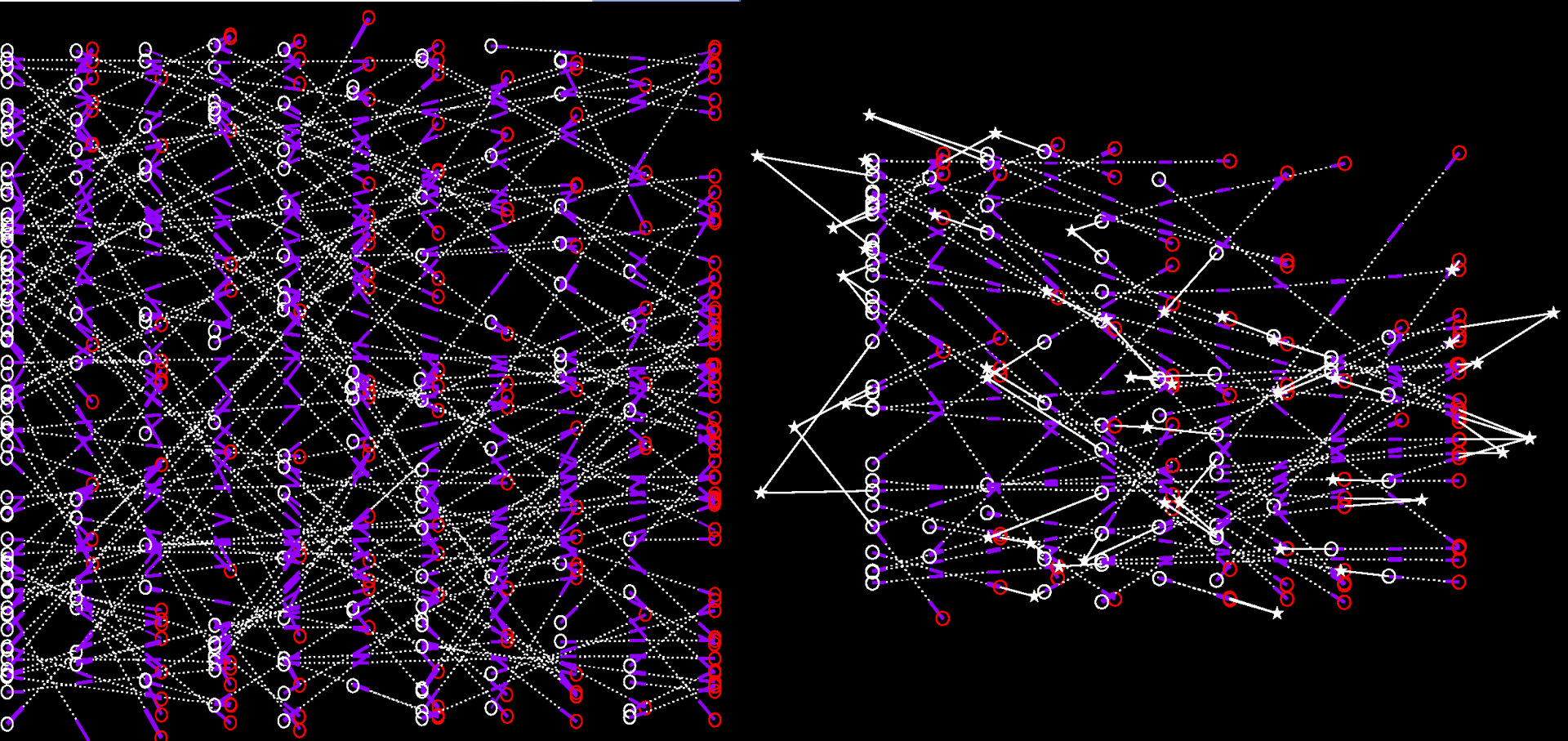
	Nombre D'événements simulés	Nombre d'événements reconstruits	Nombre D'événements purs	$\varepsilon$	$\pi$
Type 1	2308	867	482	21% (1%)	56% (3%)
Type 2	2173	557	436	20% (1%)	78% (5%)

## Avec bruit de fond réel (1000 evts):

	Nombre D'événements simulés	Nombre d'événements reconstruits	Nombre D'événements purs	$\varepsilon$	$\pi$
Type 1	785	329	170	22% (2%)	52% (5%)
Type 2	737	195	153	21% (2%)	78% (8%)



# Retrouver le vertex au milieu du bruit de fond

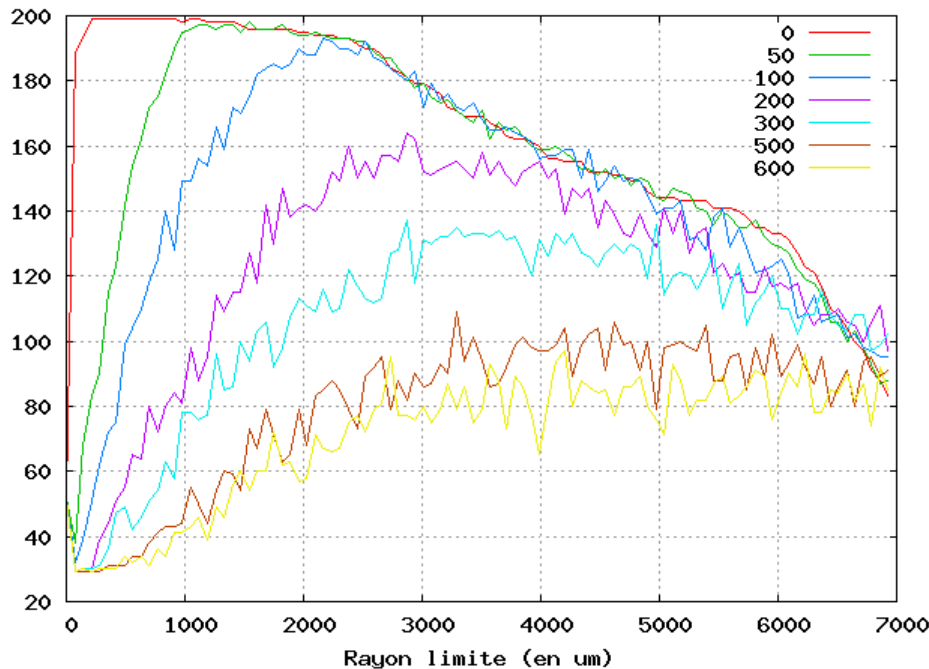


# $v_\mu$ CC avec bruit de fond

*Retrouver le vertex au milieu du bruit de fond*

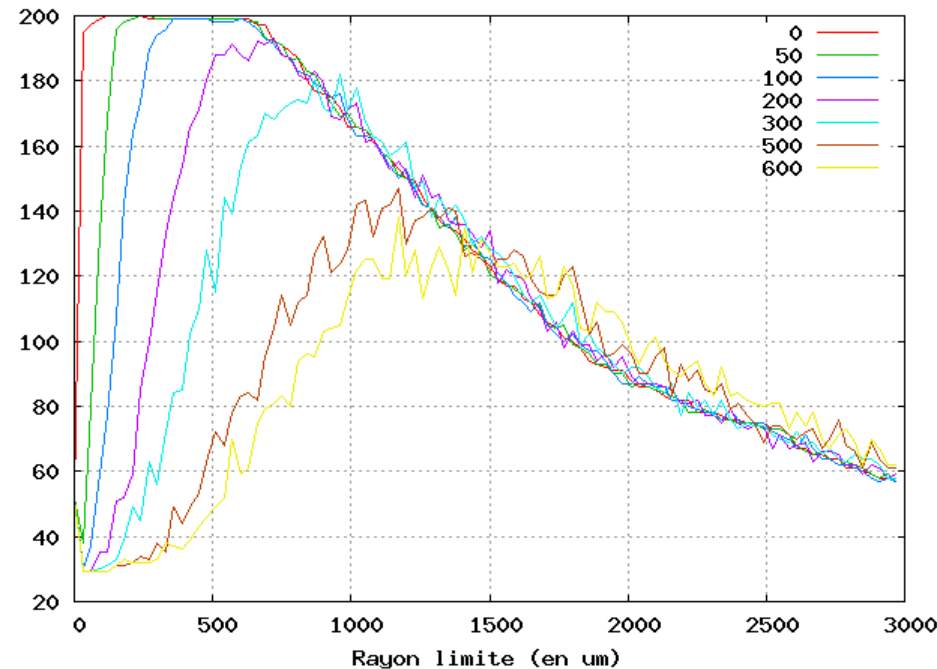
- Erreur gaussienne ajoutée à la position du vertex simulé avec  $\sigma_z = 10 * \sigma_{xy}$
- 200 événements
- Comptage du nombre de bonnes réponses (équivalente à la recherche sans bruit de fond)

Recherche avec limite circulaire



Limite circulaire

Recherche avec limite elliptique

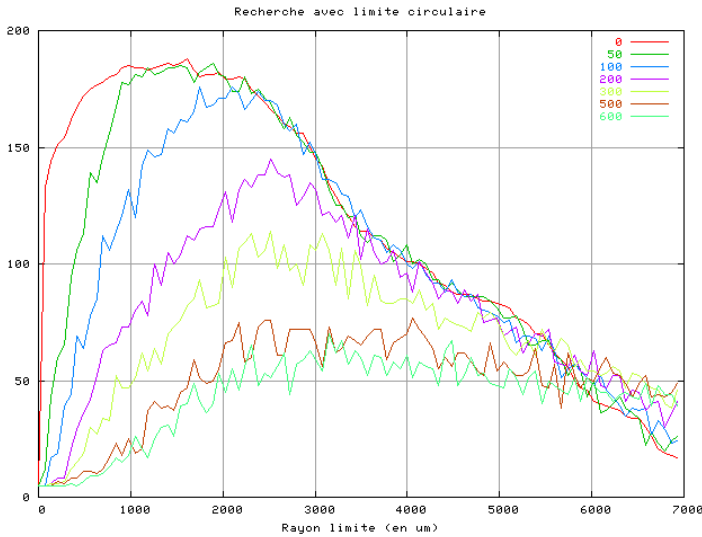


Limite elliptique (facteur 10)

# $v_\tau$ CC avec bruit de fond

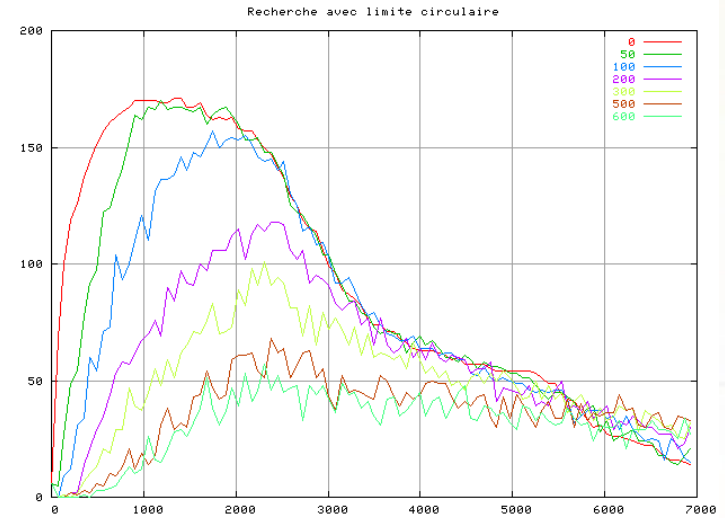
## *Retrouver le vertex au milieu du bruit de fond*

### 1er Vertex

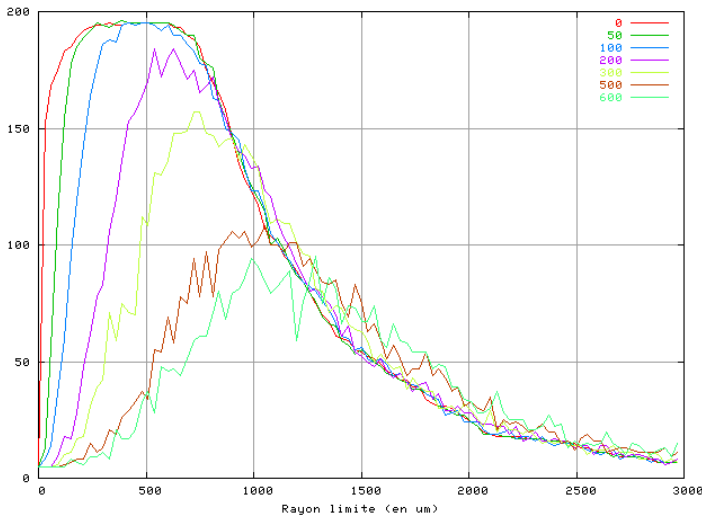


Limite  
circulaire

### 2eme Vertex

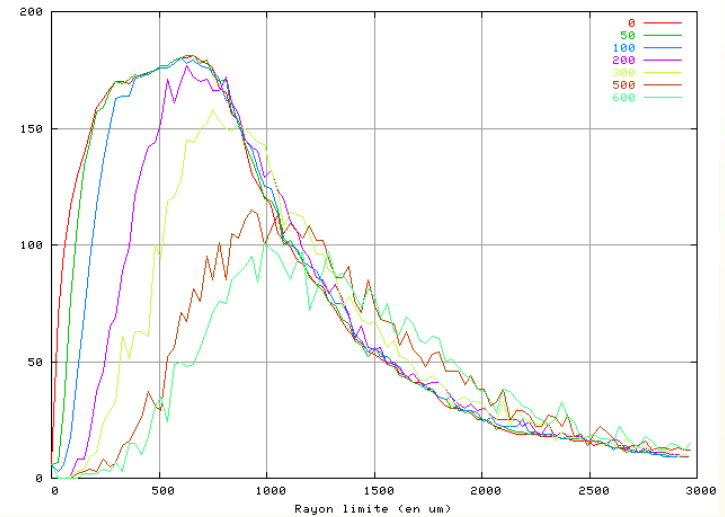


Recherche avec limite elliptique (facteur 10)



Limite  
elliptique

Recherche avec limite elliptique (facteur 10)



# Conclusion

- L'étude d'interactions neutrinos  $\nu_\mu$ CC et  $\nu_\tau$ CC nous a montré que :
  - La reconstruction est acceptable pour les événements à un vertex
  - La reconstruction à deux vertex plus délicate
- L'étude avec bruit de fond cosmique a montré qu'il n'influçait pas la reconstruction à 1 ou 2 vertex.
- On pourra adapter la distance de recherche autour du point d'arrêt des traces en fonction de la précision de ce dernier

## Perspectives :

- Déterminer la valeur de la précision du point d'arrêt
- Nouvel algorithme de reconstruction de vertex en cours d'implémentation

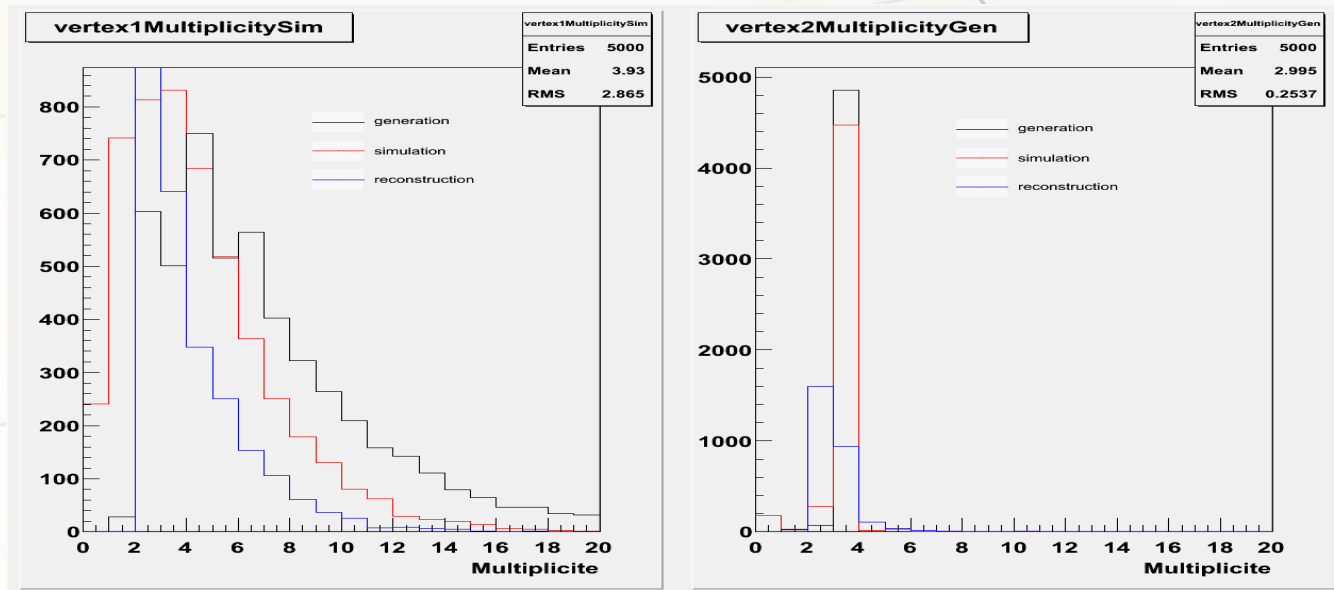


MERCI A TOUS



# $\nu_\tau$ CC sans bruit de fond

## *Multiplicité*

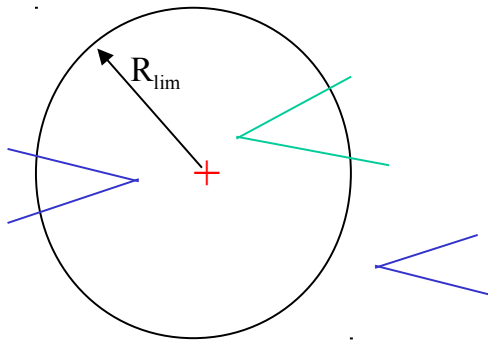


Multiplicité plus faible après reconstruction  
 Multiplicités moyennes :

	1er vertex	2eme vertex
Génération	6.4	3.0
Simulation	3.9	2.8
Reconstruction	3.6	2.5

# Retrouver le vertex au milieu du bruit de fond

- Recherche du vertex reconstruit le plus proche du point d'arrêt (défini par le scanback)
- Pour l'instant le point d'arrêt pris comme étant le vertex généré.
- Limitation de la zone de recherche à une distance fixe du point.



Recherche du  
vertex avec le  
bruit de fond

Recherche du  
vertex sans bruit  
de fond

Comparaison des réponses

# $\nu_\tau$ CC

## *Résolutions spatiales*

Sans bruit de fond (5000 événements) :

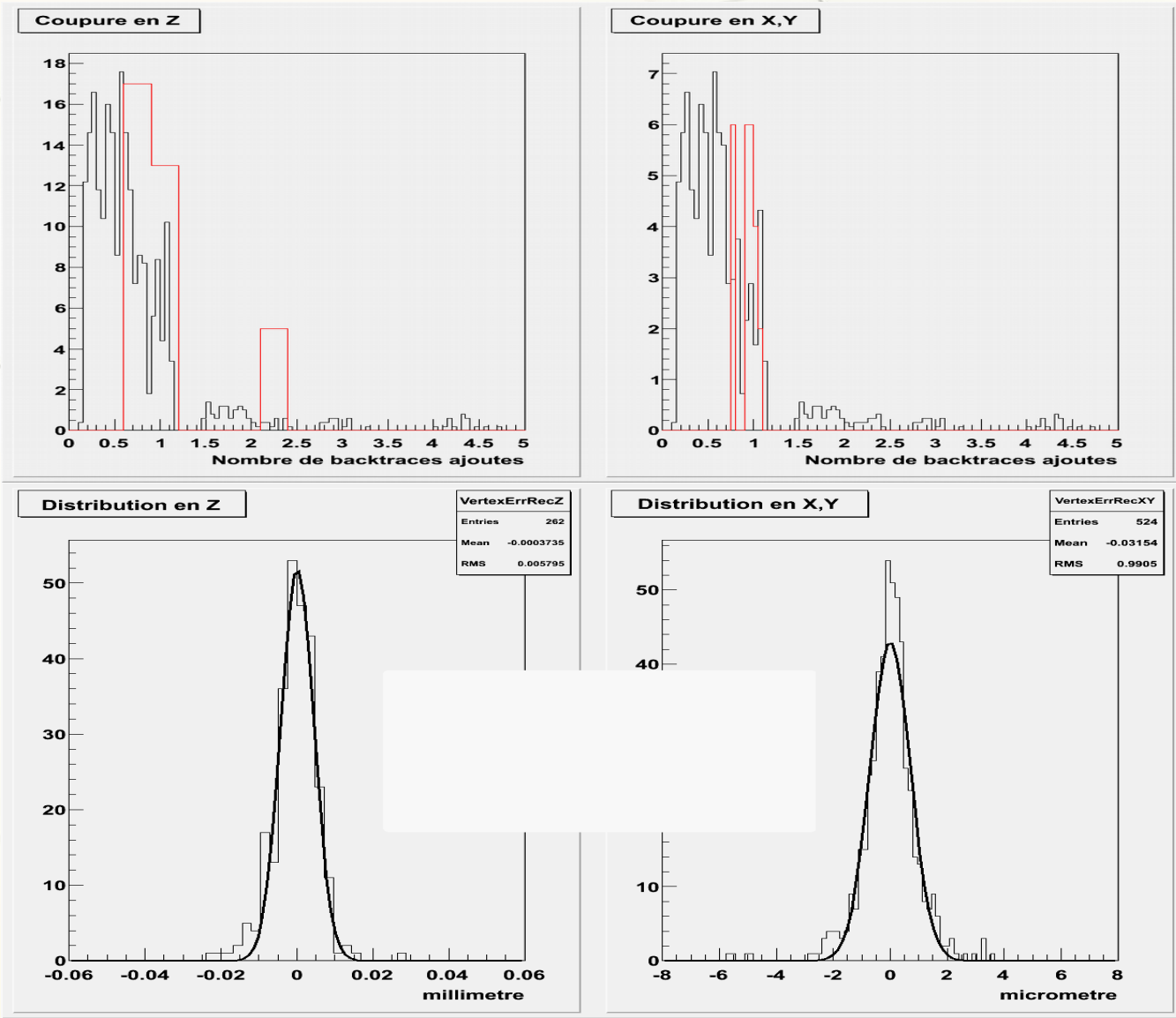
	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$
$\sigma_x y$ vertex 1	$0.63 \pm 0.05$	$2.2 \pm 0.2$	$8.8 \pm 0.5$
$\sigma_x y$ vertex 2	$0.67 \pm 0.04$	$2.6 \pm 0.1$	$10.8 \pm 0.9$
$\sigma_z$ vertex 1	$5.1 \pm 0.3$	$20 \pm 2$	
$\sigma_z$ vertex 2	$5.1 \pm 0.5$	$19 \pm 2$	

Avec bruit de fond (1000 événements) :

	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$
$\sigma_x y$ vertex 1	$0.55 \pm 0.07$	$2.4 \pm 0.2$	$24 \pm 17$
$\sigma_x y$ vertex 2	$0.7 \pm 0.1$	$1.9 \pm 0.3$	$17 \pm 7$
$\sigma_z$ vertex 1	$5.1 \pm 0.9$	$19 \pm 5$	
$\sigma_z$ vertex 2	$3.2 \pm 0.9$	$13 \pm 2$	

# $\nu\mu$ CC sans bruit de fond

## *Résolution spatiale*

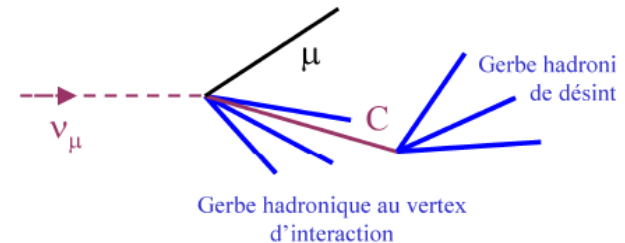
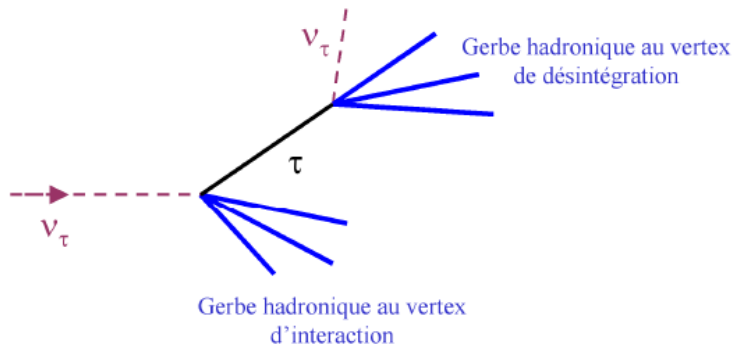


# Problématique

## *La détection $\nu_\tau \rightarrow \tau \rightarrow 3\text{hadrons}$*

- Bruit de fond physique dû aux  $\nu_\mu$  du faisceau n'ayant pas oscillé
- Canal parasité par  $\nu_\mu \rightarrow \mu + c \rightarrow 3\text{ hadrons}$
- Distances de vol du charme de l'ordre de celle du  $\tau$
- Identifier les événements  $\nu_\tau$  parmi les données.

=> Estimer avec quelle qualité les événements à 2 vertex sont reconstruits (FEDRA)



$\Lambda_c^\pm$	26%
$D^\pm$	10%
$D^0/\overline{D^0}$	45%
$D_s^\pm$	18%



# Oscillation neutrinos

- 3 saveurs chacune associée à un lepton
- En MQ, il y a oscillation entre ces 3 états s'ils ne sont pas états propres de masse.
- Permet d'expliquer les déficits de neutrinos dans certaines expériences.
- Oscillation entre deux saveurs :

$$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta_{23}) & \sin(\theta_{23}) \\ -\sin(\theta_{23}) & \cos(\theta_{23}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

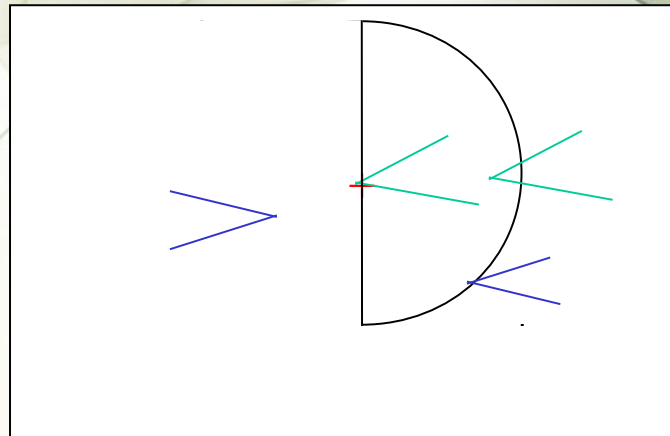
$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau) = \sin^2(2\theta_{23}) \sin^2\left(1.27 \frac{\Delta m_{23}^2 L}{E}\right)$$

Masse $\nu_e$	<2eV
Masse $\nu_\mu$	<170 KeV
Masse $\nu_\tau$	<18 MeV

# $v_\tau$ CC avec bruit de fond

*Retrouver le vertex au milieu du bruit de fond*

- Recherche du 1er vertex identique au  $v_\mu$
- Pour trouver le 2e vertex on part du 1er si on l'a trouvé.
- On limite la recherche dans la zone à droite du 1er vertex.
- Utilisation des même limitation de distance de recherche.



# $\nu\mu$ CC sans bruit de fond

Coupure en Z

Coupure en XY

