

Première analyse du canal $\tau \rightarrow 3$ hadrons dans l'expérience OPERA

Murièle LAVY

directeur de thèse : Dominique DUCHESNEAU

- ★ Les oscillations de neutrinos
- ★ Le faisceau de neutrinos CNGS
- ★ L'expérience OPERA : motivations et principe
- ★ Canal de désintégration hadronique du lepton τ



Les oscillations de neutrinos



Si les neutrinos ont une masse, les **états propres électrofaibles** ($\nu_{e,\mu,\tau}$) se décomposent sur une base d'**états propres de masse** ($\nu_{1,2,3}$)

$U_{\alpha j}$ est la matrice de mélange

$$\nu_{\alpha} = \sum_{j=1}^3 U_{\alpha j} \nu_j$$

$$U_{\alpha j} = \begin{pmatrix} \cos \theta_{12} & \sin \theta_{12} & 0 \\ -\sin \theta_{12} & \cos \theta_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_{23} & \sin \theta_{23} \\ 0 & -\sin \theta_{23} & \cos \theta_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & e^{-i\delta} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta_{13} & 0 & \sin \theta_{13} \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta_{13} & 0 & \cos \theta_{13} \end{pmatrix}$$

probabilité d'oscillation

$\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\tau}$

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

2 paramètres : $\sin^2 2\theta$, angle θ de mélange entre 2 saveurs

Δm^2 , différence des 2 masses au carré



Les oscillations de neutrinos



☆ **Neutrinos solaires** : *SNO, GALLEX...* → déficit de neutrinos ν_e

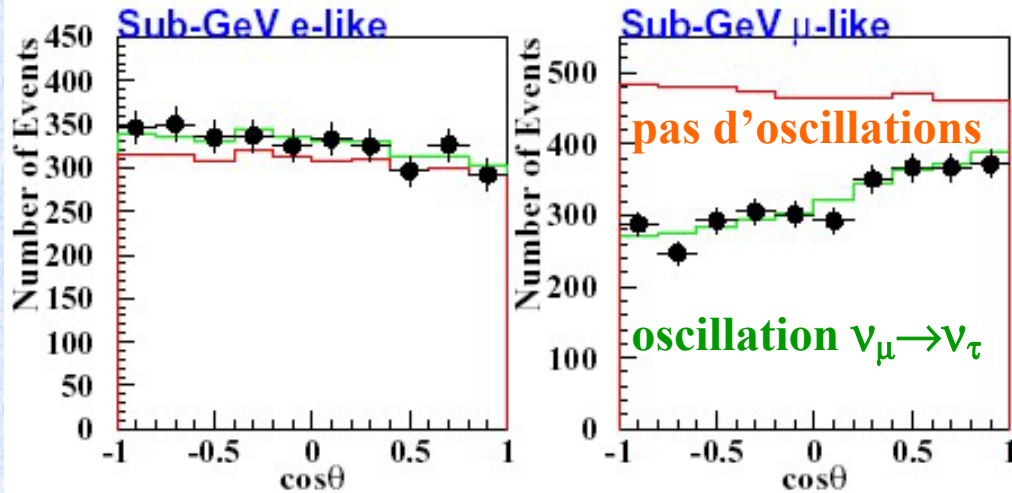
SNO : évidence du changement de saveur

Kamland (réacteur) confirme disparition, compatible avec oscillation

☆ **Neutrinos atmosphériques** : *Super-Kamiokande, Soudan2, Macro*

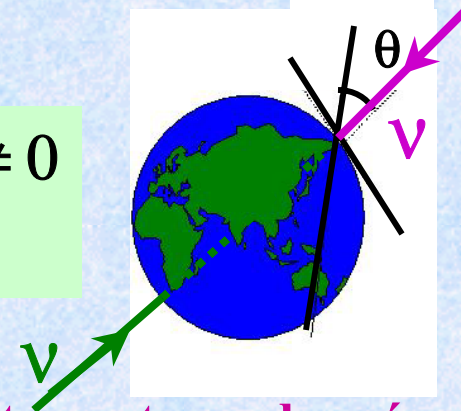
→ disparition de neutrinos ν_μ

Confirmation avec les expériences «long baseline» : Opera, Minos



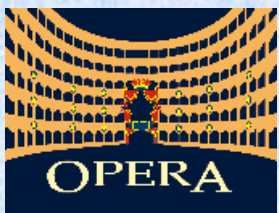
$$N\nu_\mu - N\nu_\mu \neq 0$$

$$\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$$



meilleur ajustement aux données

$$\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau \quad \Delta m_{23}^2 \text{ et } \theta_{23}$$



Le faisceau de neutrinos CNGS



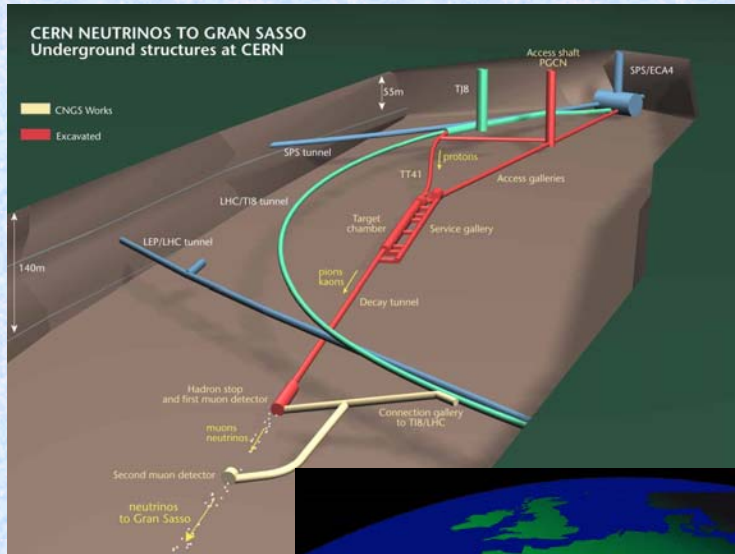
faisceau de neutrinos ν_μ part du CERN vers le Gran Sasso (732 km)

➔ Pour observer l'apparition de neutrinos ν_τ

$$\langle E_\nu \rangle = 18 \text{ GeV}$$

Intensité possible* :

$6,7 \cdot 10^{19}$ protons sur cible



Nombre d'évènements attendus dans le détecteur OPERA pour 1 an

ν_τ CC ($\Delta m^2 = 2.4 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$)	~ 36
ν_μ CC	~ 8000

Faisceau prêt en juin 2006

30 nov-5 déc 2003

Journées Jeunes Chercheurs

4

* : à l'étude actuellement

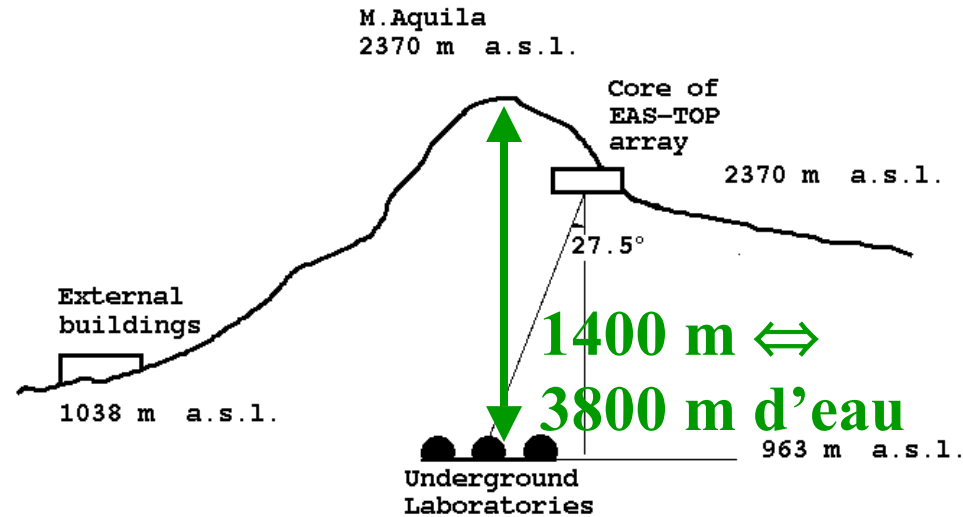
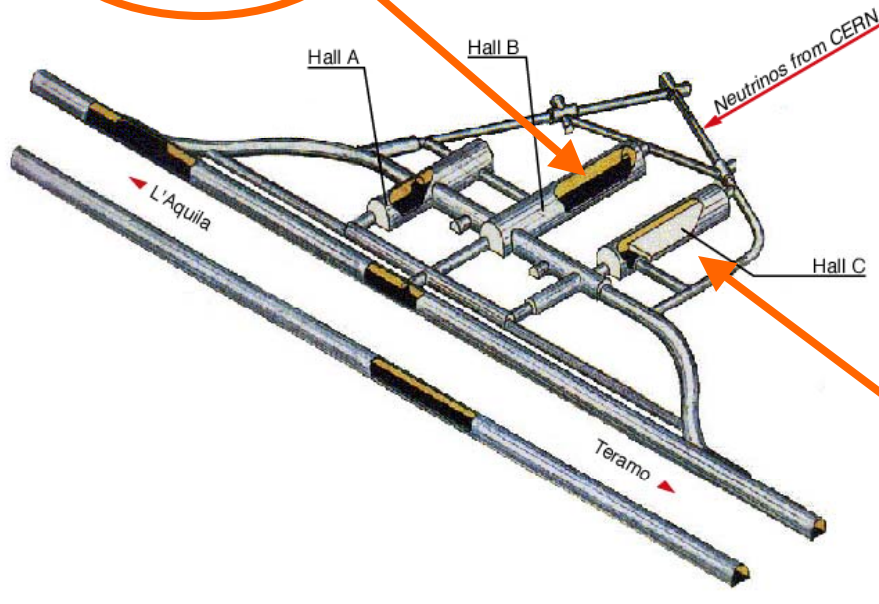


Le faisceau de neutrinos CNGS



Gran Sasso est un laboratoire souterrain (120 km de Rome)

ICARUS



La montagne protège des rayons cosmiques

OPERA

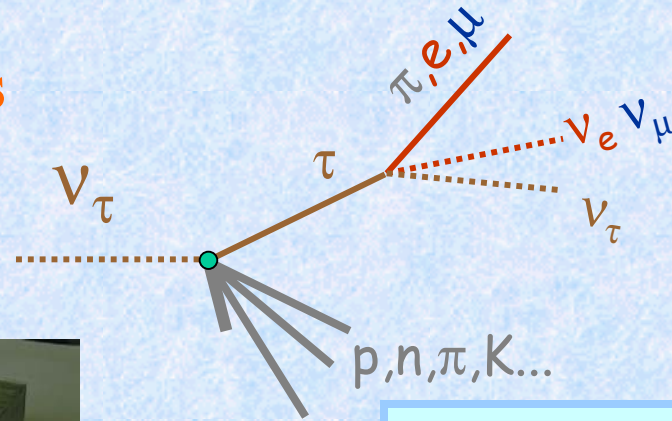


L'expérience OPERA



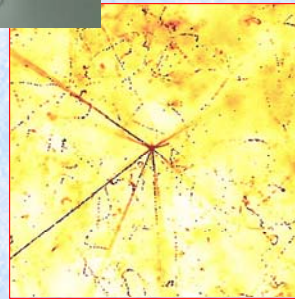
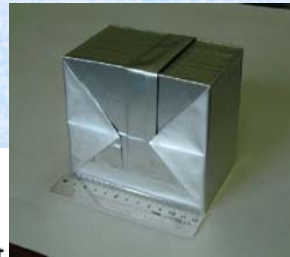
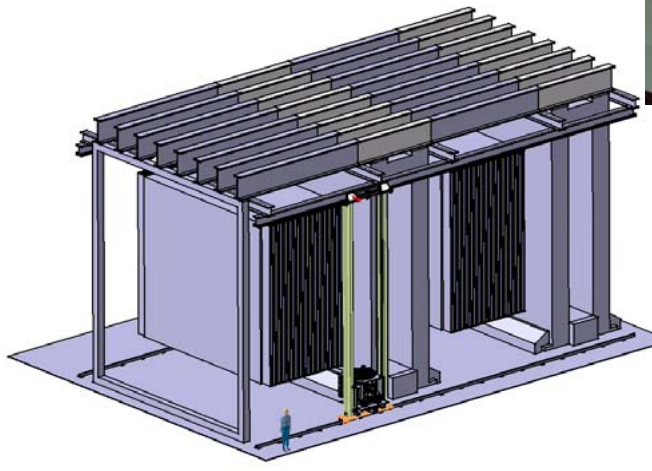
Objectif : **mise en évidence des oscillations $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$**

Principe : **observation de la désintégration du τ .**

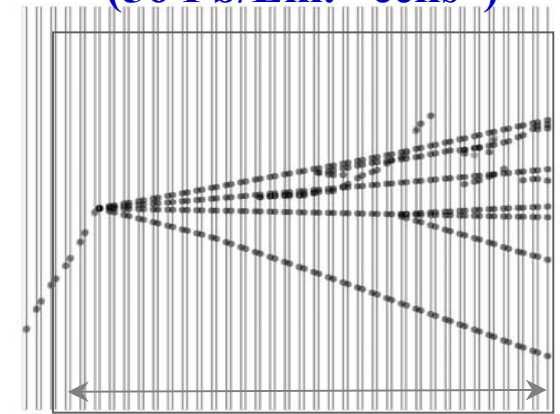


granularité : $\sim \mu\text{m}$

brique
(56 Pb/Em. "cells")



*avec des émulsions photographiques
cible : 1,8 ktonnes*



8 cm ($10X_0$)



Performances du détecteur OPERA



$\tau^- \rightarrow \nu_\tau \bar{\nu}_\mu \mu^-$ BR=17.5%
 $\tau^- \rightarrow \nu_\tau \bar{\nu}_e e^-$ BR=17.5%
 $\tau^- \rightarrow \nu_\tau h^-$ BR= 50 %

Bruit de fond :

- Désintégrations charmées
- μ à grand angle de diffusion
- re-interactions de hadrons

95 % de CL et 5 ans de données

channel	Signal (Δm^2 (eV ²))			ϵ .BR	Background
	1.3 10 ⁻³	2.0 10 ⁻³	3.0 10 ⁻³		
e	1.8	4.1	9.2	3.4%	0.31
μ	1.4	3.4	7.6	2.8%	0.33
h	1.5	3.5	7.8	2.9%	0.42
total	4.7	11.0	24.6	9.1%	1.06



Canal de désintégration $\tau \rightarrow 3$ hadrons

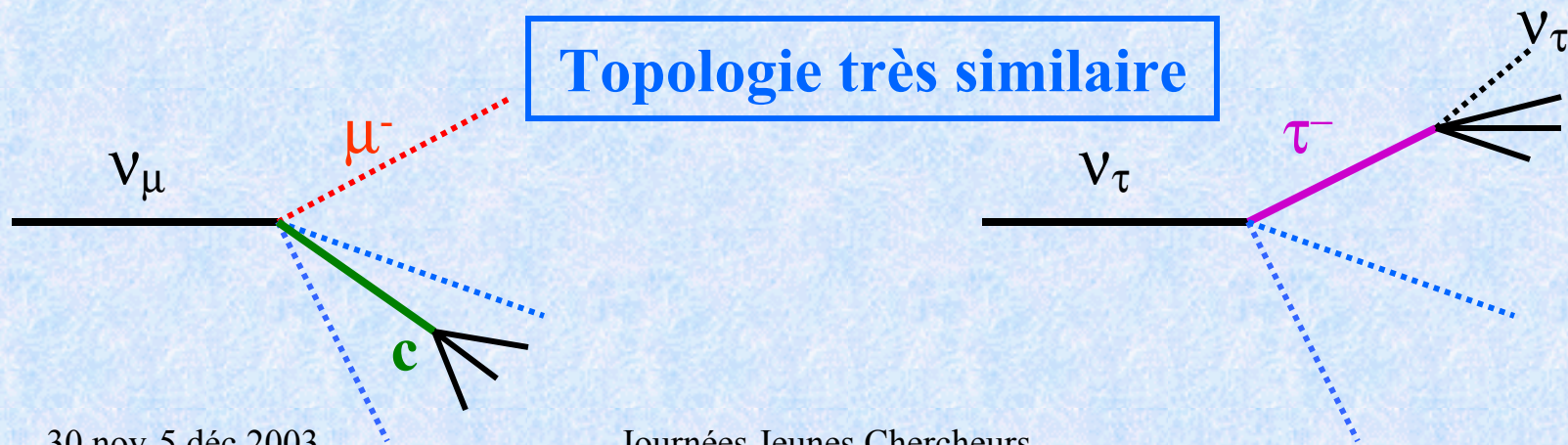


Bruit de fond principal provient des particules charmées produites dans les interactions ν_μ CC.

Signal : $\tau^- \rightarrow h^- h^+ h^- \nu_\tau$
 $BR(\tau \rightarrow 3h) = 15\%$

▲ $D^+, D^+_s, \Lambda^+_c = 3.3\%$ des interactions ν_μ courant chargé = 264 évènements par an

▲ 95% des muons avec $p_\mu > 1$ GeV sont détectés



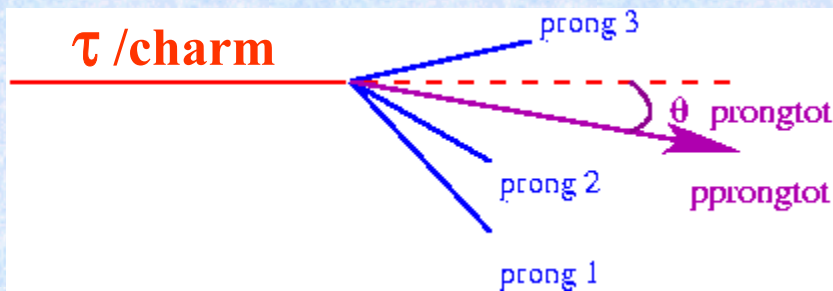


Critère cinématique

$\tau \rightarrow 3$ hadrons

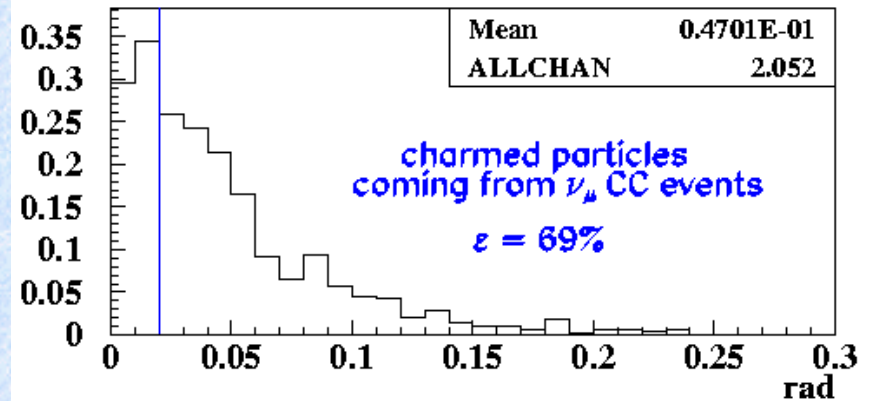
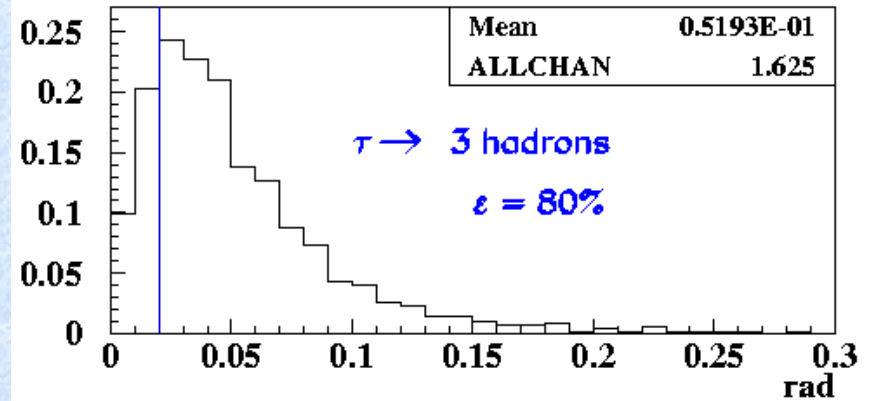


θ_{prongtot}



Coupure 1 : $\theta_{\text{prongtot}} > 0.02$ rad

total space angle for the decay



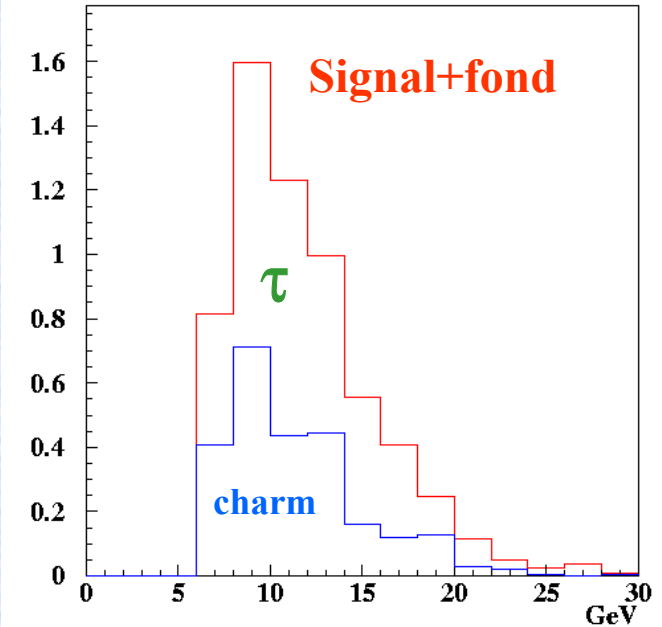


Résultats de l'analyse cinématique coupures séquentielles

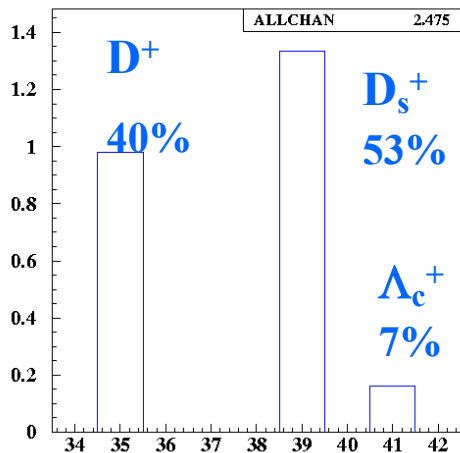


DIS events	$\epsilon_{\tau \rightarrow 3h}$	$\tau \rightarrow 3h$	ϵ_c	charm CC	Purity
$N_{\text{prong}} > 2 + 95\% \mu + \text{long decay}$	30%	8	2.4%	10.5	47%
$+\theta_{\text{prongtot}} > 0.2 \text{ rad}$	24%	6.5	1.6%	7	48%
$+p_{\text{prongtransv}} > 0.3 \text{ GeV}$	20%	5.5	1.1%	4.5	53%
$+E_{\text{prongtot}} > 7 \text{ GeV}$	13%	3.5	0.6%	2.5	59%

Énergie totale



Bruit de fond



évènements attendus dans le détecteur OPERA pour 5 ans

★ Efficacité $\epsilon = 13\%$

★ Pureté $\pi = 59\%$

$$E_{\text{prong}} = \sum_{i=1}^n E(i)$$



Analyse préliminaire du canal $\tau \rightarrow 3h$ avec la méthode du rapport de vraisemblance



4 variables utilisées :

- Angle total
- Impulsion transverse totale
- Énergie totale
- Énergie totale de la gerbe hadronique

des particules issues
de la désintégration
des particules
charmées ou du tau

$$L^{b,s}(i, j, k, l) = \text{Prob}(p_t = p_i) \times \text{Prob}(\theta_p = \theta_j) \times \text{Prob}(E_p = e_k) \times \text{Prob}(E_j = e_l)$$



Résultats préliminaires avec la méthode du rapport de vraisemblance



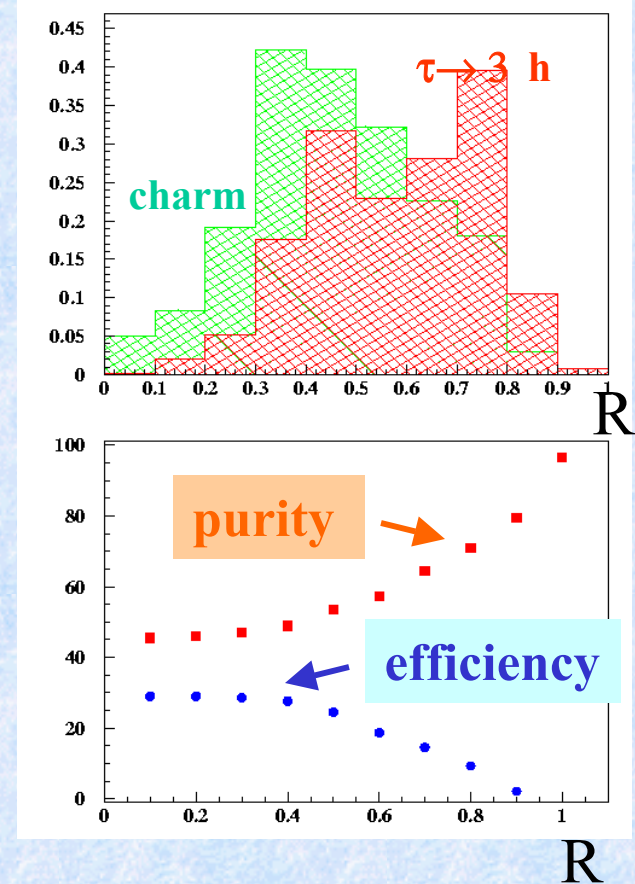
4 variables utilisées pour construire un rapport de « likelihood » :

$$R = \frac{L^s(i, j, k, l)}{L^s(i, j, k, l) + L^b(i, j, k, l)}$$

Cut	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
ε (%)	29	29	24	14	2
π (%)	45	47	54	64	79

⇒ résultats améliorés : $\varepsilon = 14\%$, $\pi = 64\%$

Améliorations : plus de variables et ajustements





Conclusions



- Outils d'analyse

 - Simulation du détecteur

 - sous-détecteur : briques \Rightarrow

- Reconstruction de variables cinématiques

 - MCS (\rightarrow voir proceeding)

 - Reconstruction de gerbes (à venir)

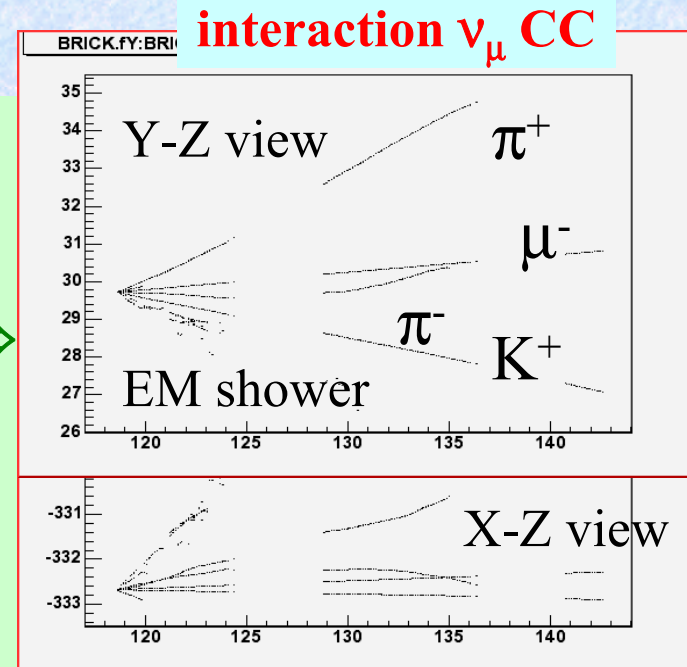
- Analyse du canal de désintégration hadronique $\tau \rightarrow hhh$

 - Bruit de fond pour ce canal

 - Extraction du signal

 - Performance de ce canal, calcul de sensibilité

(en cours)



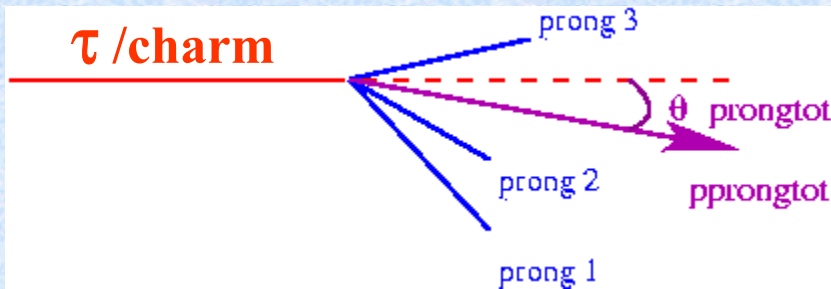


Critère cinématique

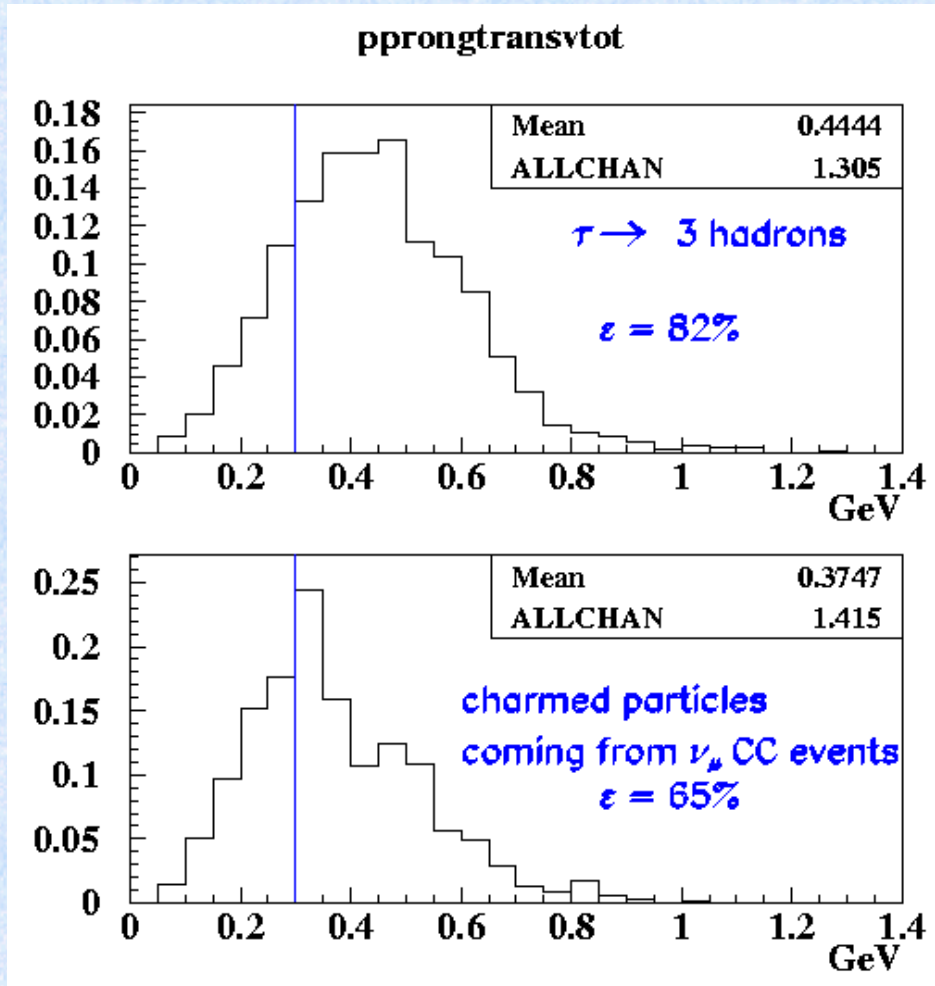
$\tau \rightarrow 3$ hadrons (2)



$$p_{\text{prongtransv}} = p_{\text{prongtot}} \times \sin(\theta_{\text{prongtot}})$$



Coupure 2 : $p_{\text{prongtransv}} > 0.3 \text{ GeV}$



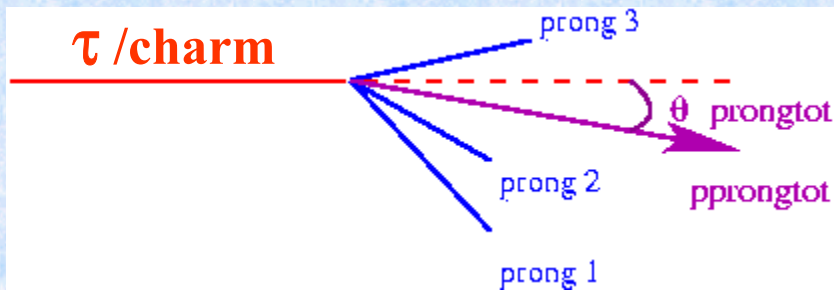


Critère cinématique

$\tau \rightarrow 3$ hadrons (3)

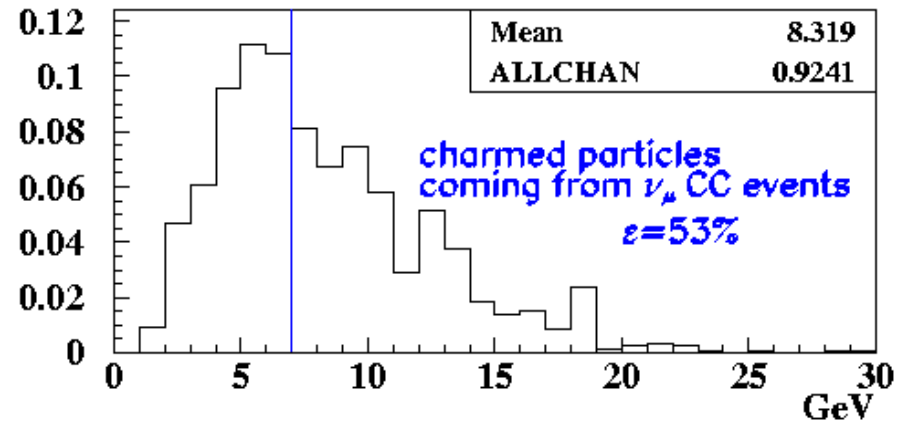
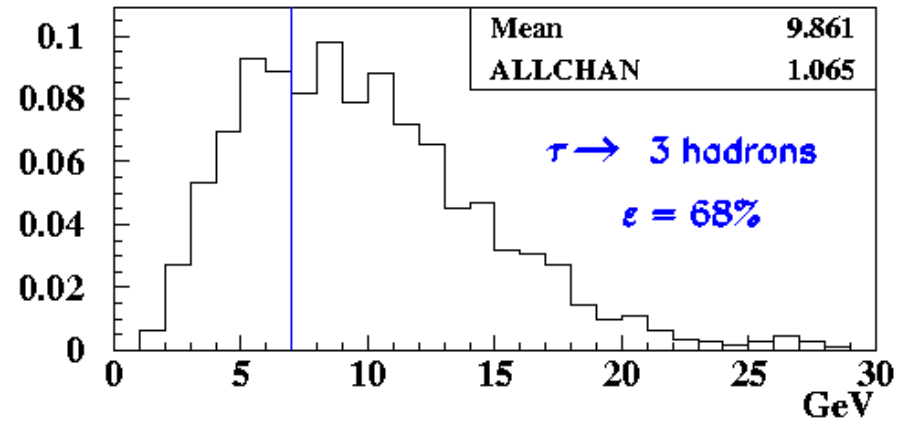


$$E_{\text{prong}} = \sum_{i=1}^n E(i)$$



coupure 3: $E_{\text{prong}} > 7$ GeV

Total Prong Energy





Résultats préliminaires avec la méthode du maximum de vraisemblance



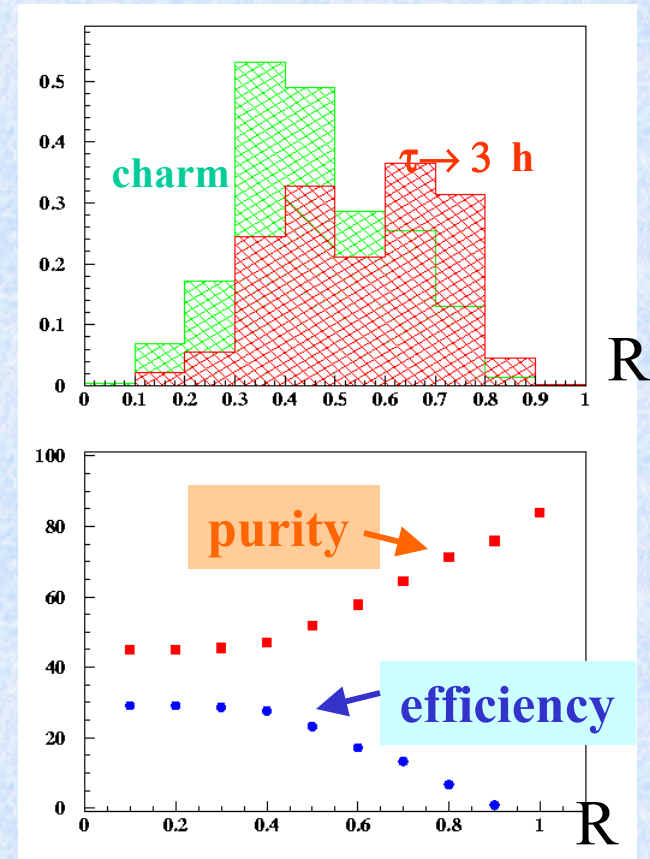
3 variables utilisées pour construire un rapport de « likelihood » :

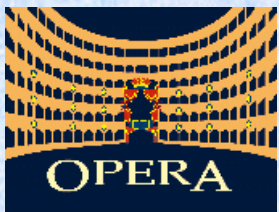
$$R = \frac{L^s(i, j, k)}{L^s(i, j, k) + L^b(i, j, k)}$$

Cut	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
ϵ (%)	29	29	23	13	0.8
π (%)	45	45	52	64	76

⇒ résultats plus convaincants : $\epsilon = 13\%$, $\pi = 64\%$

Améliorations : plus de variables et ajustements

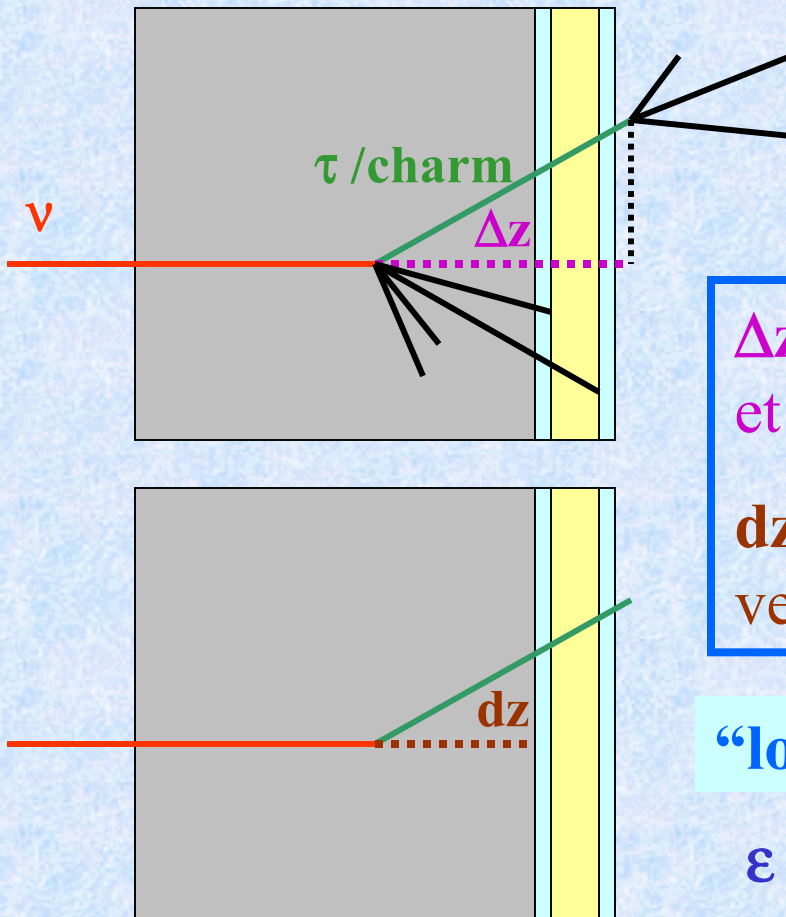




Qu'est-ce que « désintégration longue » dans OPERA ?



Le vertex de l'interaction neutrino est généré de manière aléatoire dans les plaques de plomb



Δz = distance en z entre le premier et le deuxième vertex

dz = distance entre le premier vertex et le film d'émulsion

“long decays” $\Rightarrow \Delta z - dz > 300$ microns

$\varepsilon(\tau) = 30\%$ $\varepsilon(\text{charm}) = 32\%$