

# Quelques résultats scientifiques d'OPERA et activités du groupe

LAPP – Annecy

Florian Brunet

Directeur de thèse : Amina Zghiche

Groupe OPERA : Pablo Delamo Sanchez, Dominique Duchesneau, Jean Favier, Henri Pessard, Amina Zghiche, Florian Brunet

# Sommaire

- I. Du neutrino à l'expérience OPERA
- II. Quelques résultats d'OPERA
- III. Analyses réalisées au LAPP

# I. Du neutrino à l'expérience OPERA

Le neutrino

Les motivations d'OPERA

Le principe de l'expérience et la détection de neutrinos

## Un petit mot sur le neutrino:

★ Lepton neutre → interagit très peu avec la matière

★ Existe en 3 saveurs  $\nu_e$ ,  $\nu_\mu$ ,  $\nu_\tau$

(combinaison de 3 états propres de masses)

★ Possède une **masse très faible**, certainement  $< 1 \text{ eV}/c^2$   
(1/2 millionième de la masse de l'électron)

★ Se caractérise par une propriété de transformation de saveur: **oscillation**

Au LAPP, longue tradition d'étude de ces oscillations sur réacteurs et sur faisceau



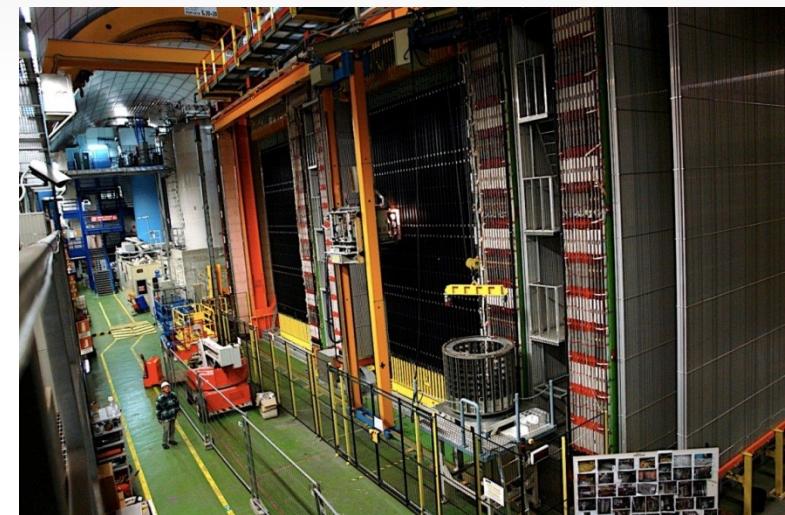
Bugey



Chooz



Nomad



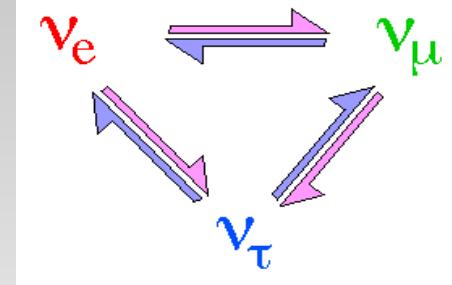
OPERA

Collaboration internationale: 11 pays, 30 instituts, 160 chercheurs  
=> 3 labos IN2P3: LAPP, IPNL, IPHC

Quarks		
Leptons	Quarks	Leptons
$u$ up	$c$ charme	$t$ top
$d$ down	$s$ chromo	$b$ bottom
$\nu_e$ neutrino e <sup>-</sup>	$\nu_\mu$ neutrino $\mu$	$\nu_\tau$ neutrino $\tau$
$e$ électron	$\mu$ muon	$\tau$ tau

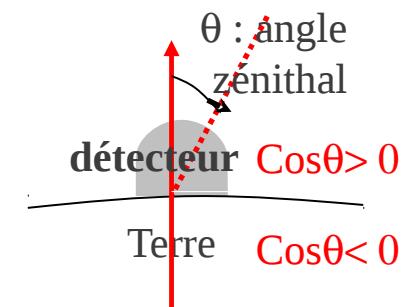
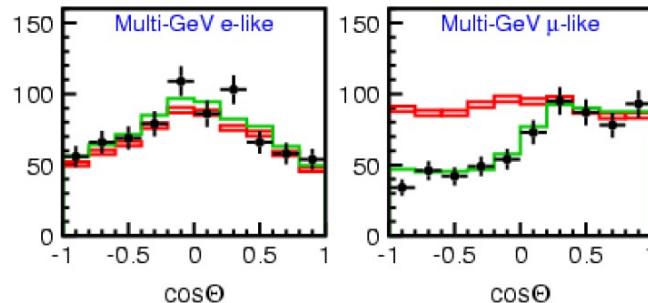
Trois générations de matière

# Pourquoi l'expérience OPERA ?



- Homestake (1968) : déficit des  $v_e$  solaires = oscillation  $v_e \rightarrow v_x$  ? (Gallex, GNO, SuperKamiokande)
- SNO (2001) mesure le flux des 3 saveurs de neutrinos = valide l'hypothèse oscillation
- SuperKamiokande (1998) : anomalie des neutrinos atmosphériques = oscillation  $v_\mu \rightarrow v_x$  ?

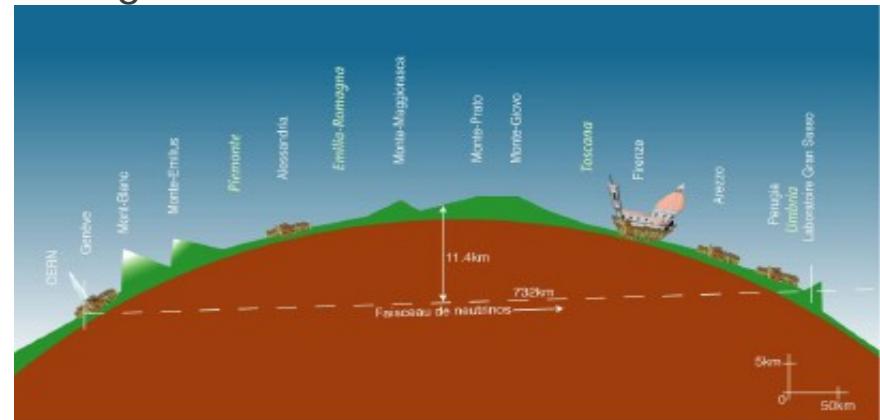
Observation d'un déficit de  $v_\mu$  par SuperKamiokande en 1998



- Chooz exclut les oscillations dans le domaine de SK :  $v_\mu \rightarrow v_e$
- Hypothèse la plus probable  $v_\mu \rightarrow v_\tau$  ?  $\rightarrow$  OPERA

# Principe de l'expérience OPERA

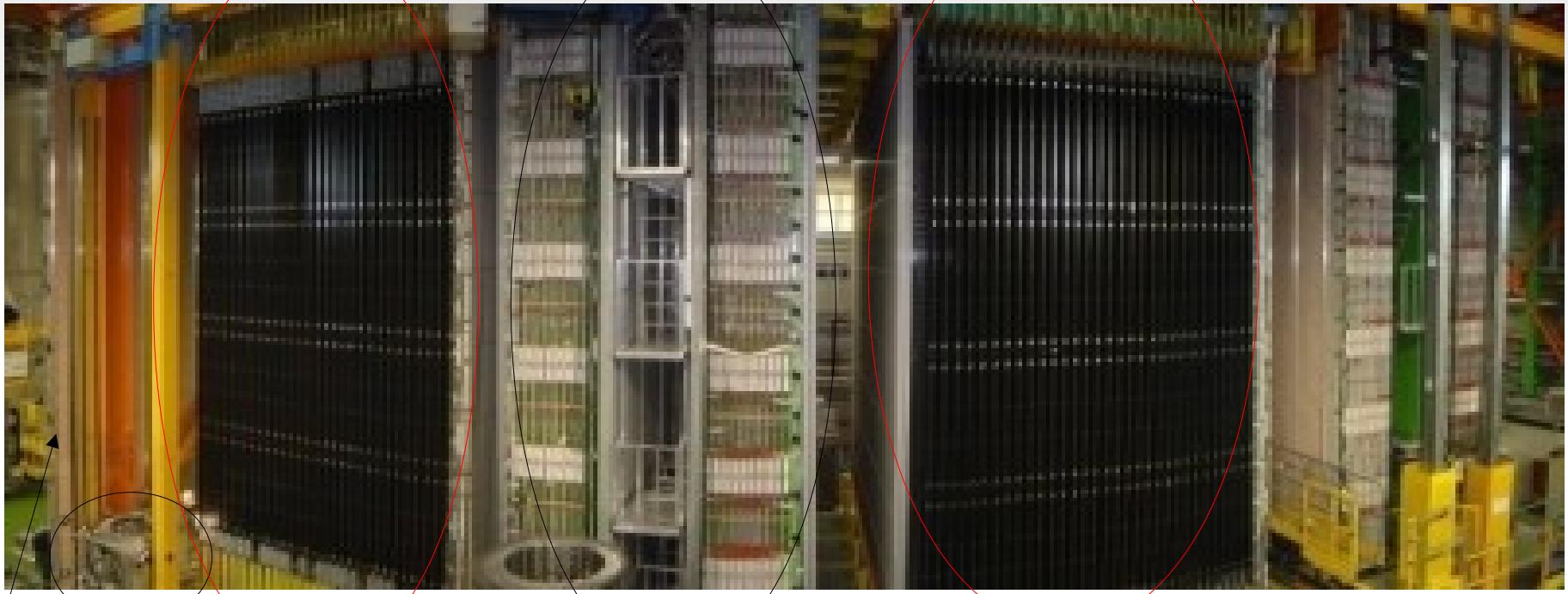
- OPERA est une expérience dite « long-baseline » sur faisceau de  $\nu_\mu$  créé au CERN près de Genève
- Le détecteur OPERA au Gran Sasso en Italie 732 km plus loin doit mettre en évidence l'apparition de  $\nu_\tau$  qui auront oscillés depuis des  $\nu_\mu$
- Grâce à une bonne sensibilité de détection des électrons on peut étudier aussi l'oscillation  $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_e$  et abaisser la limite sur l'angle de mélange  $\theta_{13}$ .



OPERA est situé sous 1400 m de roche (3100 mwe)  
~1 muon cosmique/m<sup>2</sup>.h

# La détection des neutrinos avec OPERA

Massé totale : 1,25kt de cible



Veto

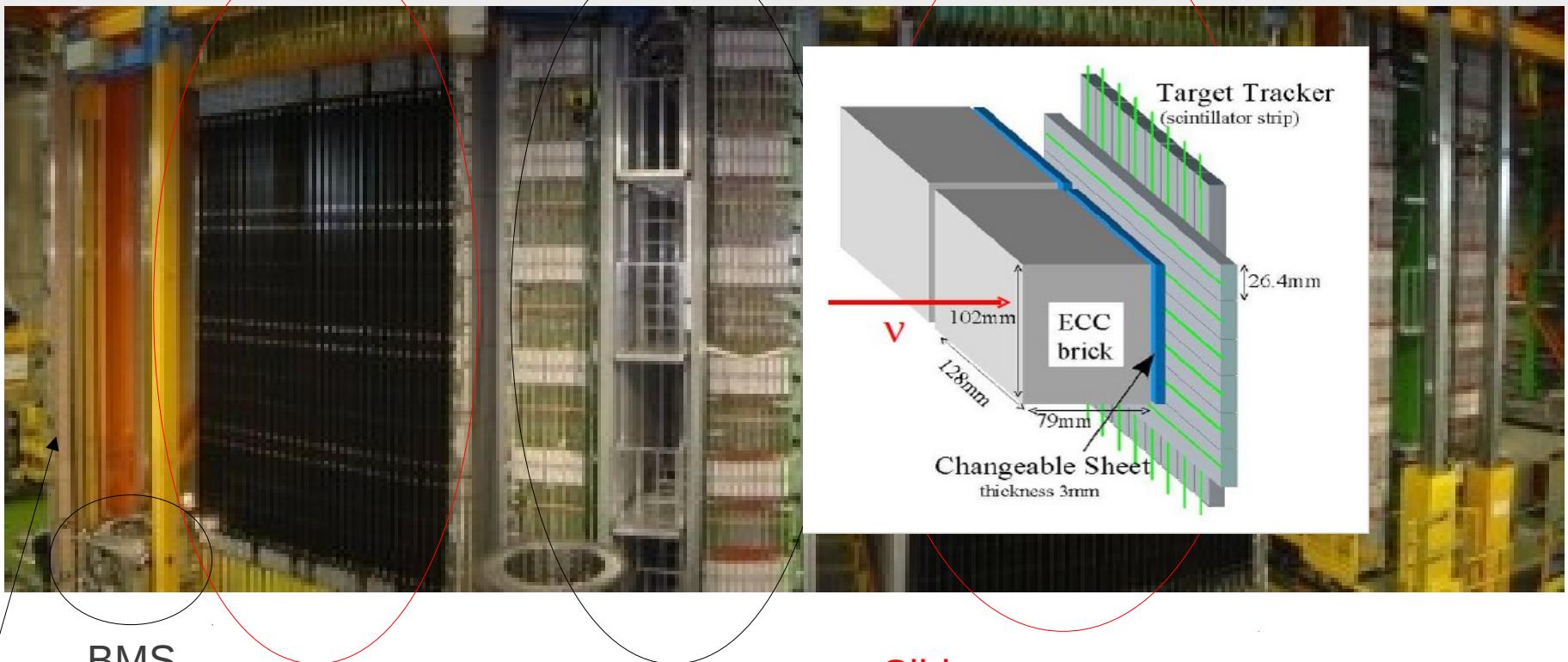
BMS

Spectromètre :  
RPC, tubes à dérive  
aimant

Cible :  
Plans de briques+plans de scintillateurs

# La détection des neutrinos avec OPERA

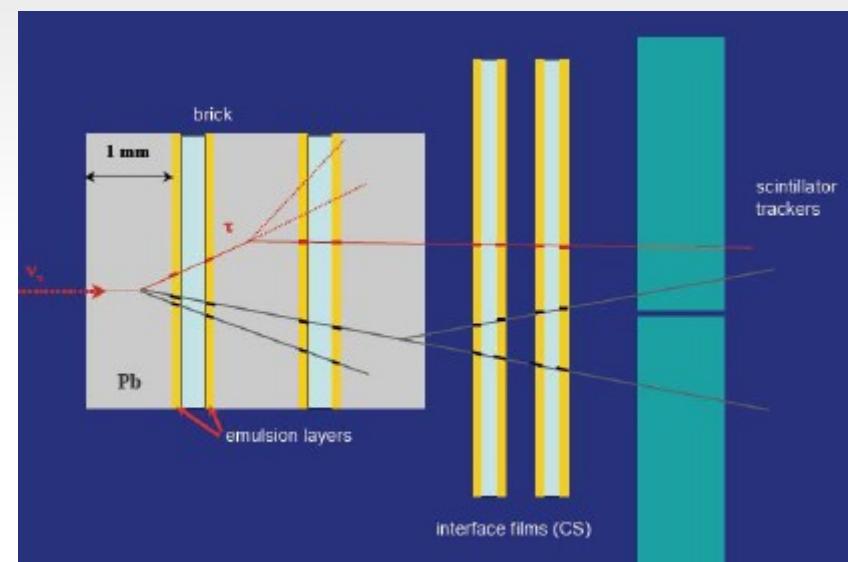
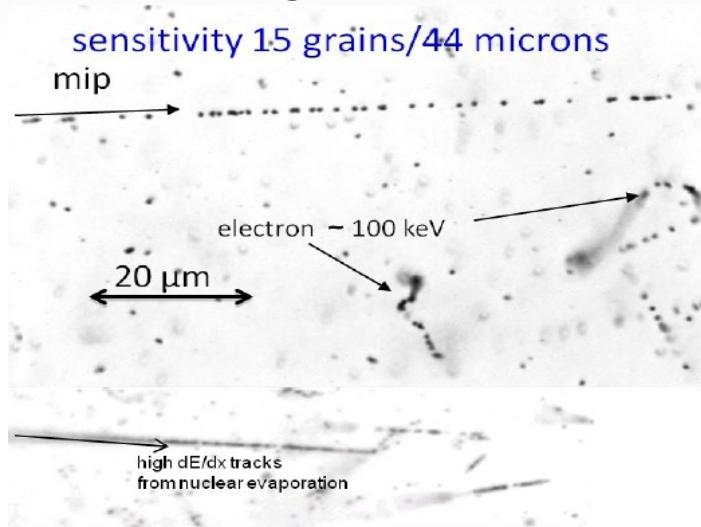
Massé totale : 1,25kt de cible



Cible :  
Plans de briques+plans de scintillateurs

# La détection du neutrino tau avec OPERA

- Faisceau de  $\nu\mu$  intense
- Cible à grande masse fiduciale et résolution spatiale micrométrique
- Détection de la topologie en coude du tau
- Emulsions :
  - Résolution spatiale  $\sim 1 \mu\text{m}$
  - Résolution angulaire  $\sim 1\text{mrad}$



- Les détecteurs électroniques servent à localiser le lieu de l'interaction neutrino dans la cible
- Résolution spatiale  $\sim 0.7 \text{ cm}$

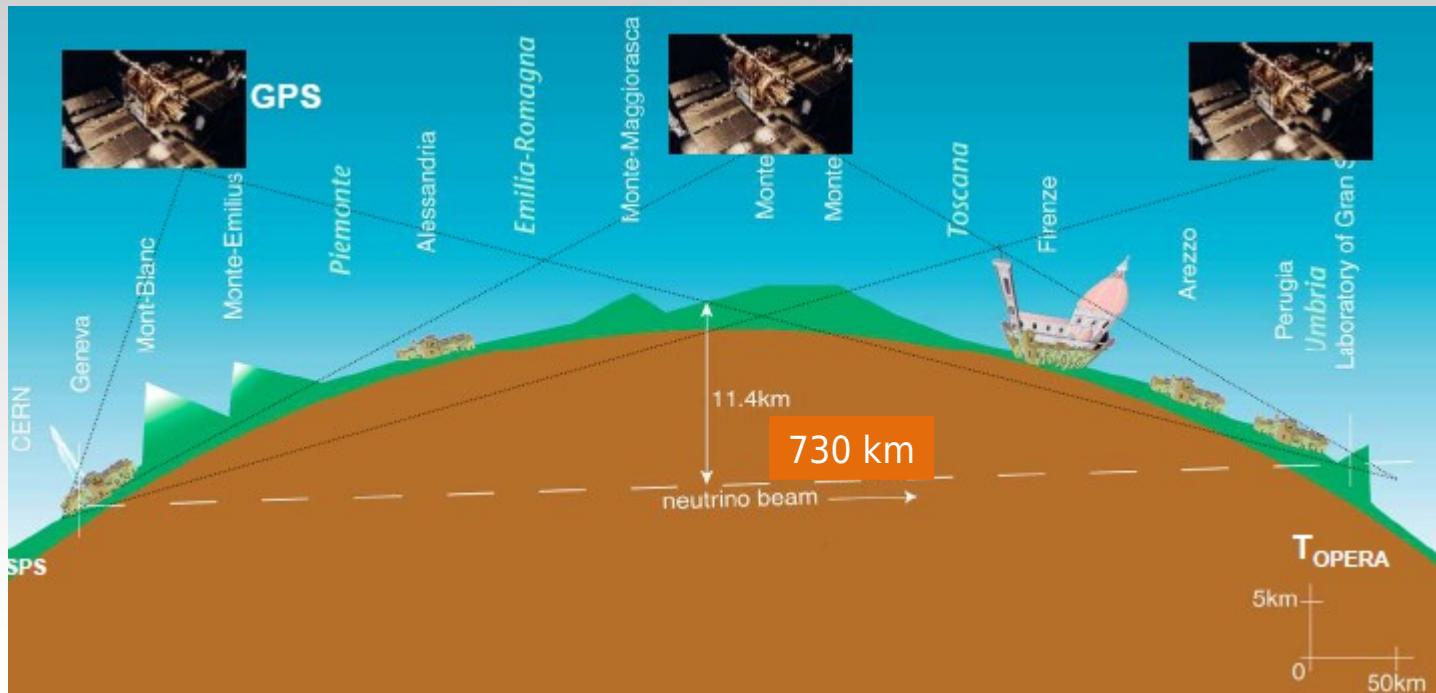
## II. Des résultats d'OPERA

Résultats sur la vitesse du neutrino

Résultats sur la mesure de muons cosmiques

Résultats sur l'apparition de neutrinos tau

# Comment mesurer la vitesse des ν:



## Ingrédients:

- produire des neutrinos => CNGS au CERN,
- Étiqueter **avec précision** le temps de départ au CERN ( $t_0$ ),
- faire parcourir une longue distance ( $L$ ) => CERN → Gran Sasso 730 km
- chronométrer le temps pris en mesurant le temps d'arrivée **précisément** dans le détecteur OPERA ( $t_1$ )

$$\text{Vitesse } v_v = \frac{L}{t_1 - t_0}$$

Ce qui va être comparé: temps pris par les neutrinos par rapport au temps pris par la lumière pour parcourir  $L$  dans le vide:  
$$\delta t = L/c - (t_1 - t_0) = (1/c - 1/v_v) \cdot L$$

## C'est une mesure pointue qui a été rendue possible grâce à:

- Grande statistique de neutrinos de haute énergie- ~16000 événements
- Système de temps sophistiqué permettant une synchronisation CNGS-OPERA ~1 ns
- Calibration précise de la chaîne complète du CNGS et OPERA au niveau ~ 1 ns
- Mesure précise de la distribution temporelle des neutrinos à travers les distributions des protons
- Mesure de la longueur par géodésie globale qui permet d'atteindre une précision de 20 cm sur les 730 km

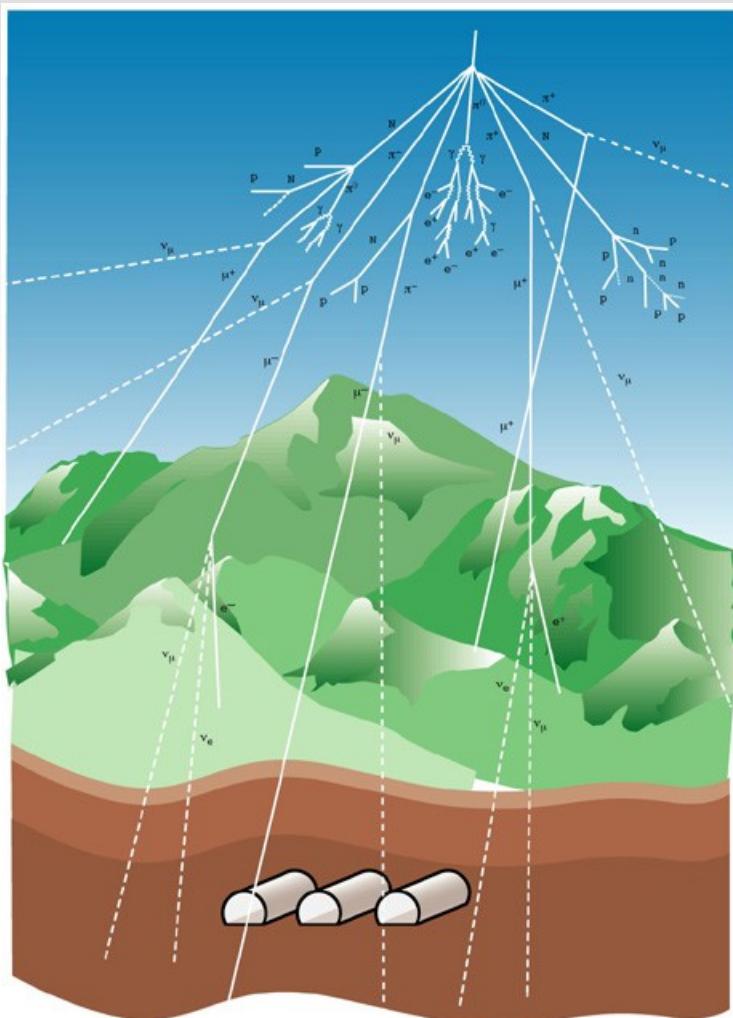
Le résultat final est alors empreint d'une précision de l'ordre de ~10 ns sur le temps de vol avec les erreurs stat. et sys. équivalentes.

$$\delta t = L/c - (t_1 - t_0) = (1/c - 1/vv) \cdot L = (60.7 \pm 6.9 \text{ (stat.)} \pm 7.4 \text{ (sys.)}) \text{ ns}$$

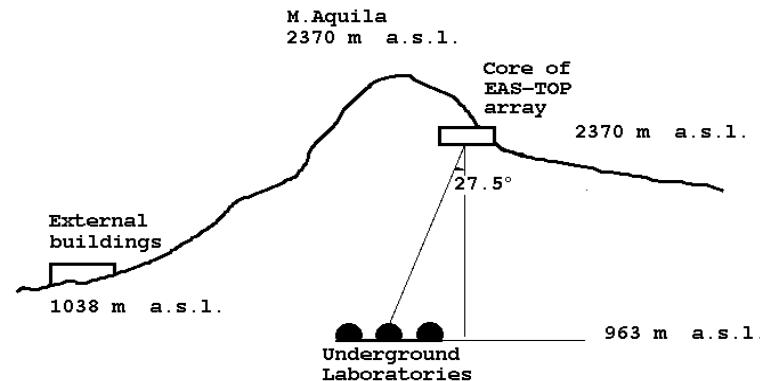
$$(v-c)/c = \delta t / (L/c - \delta t) = (2.49 \pm 0.28 \text{ (stat.)} \pm 0.30 \text{ (sys.)}) \times 10^{-5}$$

Petite image: le neutrino dépasserait la lumière de 20m à l'arrivée au Gran Sasso

# Résultats sur la mesure de muons cosmiques

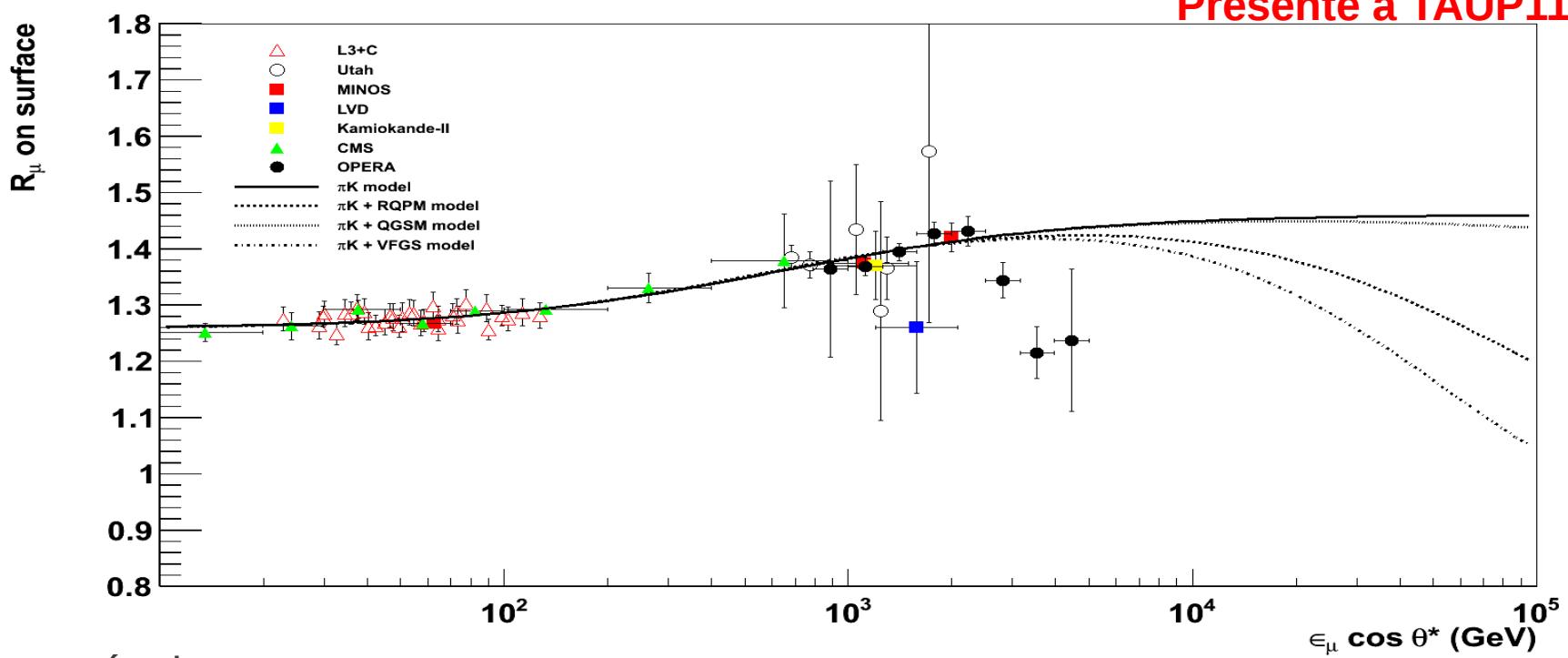


- OPERA permet de détecter des événements cosmiques pendant les runs de physique
- On peut mesurer la fraction de charge des muons atmosphériques  $R\mu = N\mu^+/N\mu^-$ 
  - Il dépend de la composition chimique et du spectre en énergie des cosmiques primaires
  - Il dépend des interactions hadroniques
  - A haute énergie, il dépend de la contributions des muons prompts



# Réultats sur la mesure de muons cosmique

Présenté à TAUP11

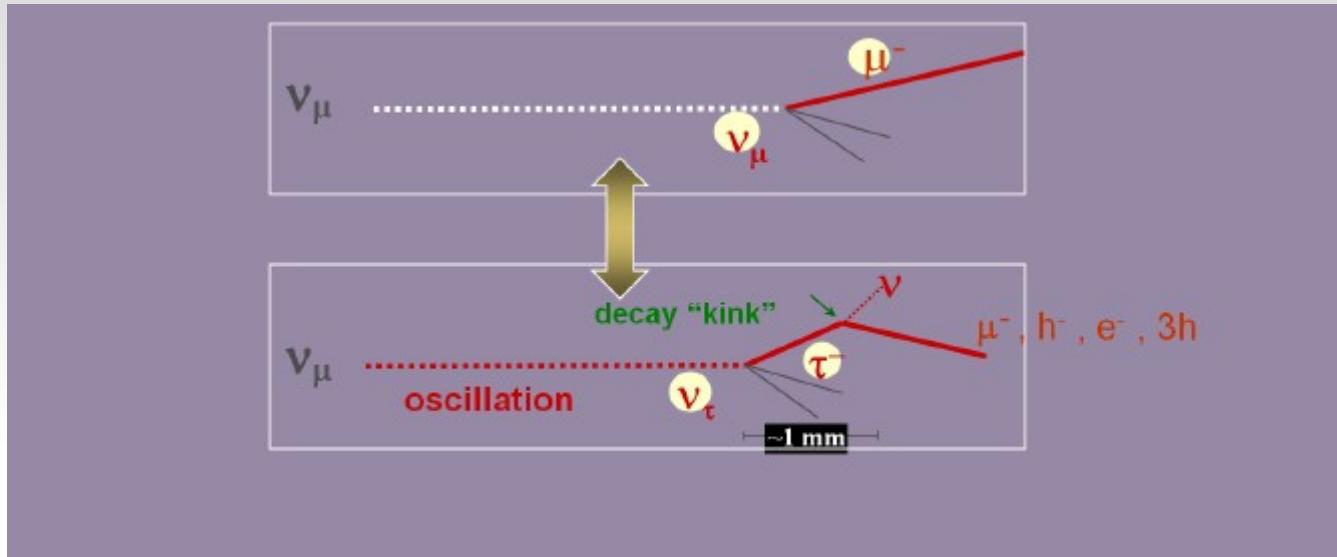


Interprétations :

- Modification dans la fraction n/p
- Modification dans les mécanismes de productions de ces muons (interactions hadroniques)
- Nouvelles sources de muon ?

# Résultats sur l'apparition de $\nu\tau$ (1)

Principe :



Données 2008-09 analysées (en cours de publication) :  
1 candidat  $\nu\tau$  pour 1.6 attendu

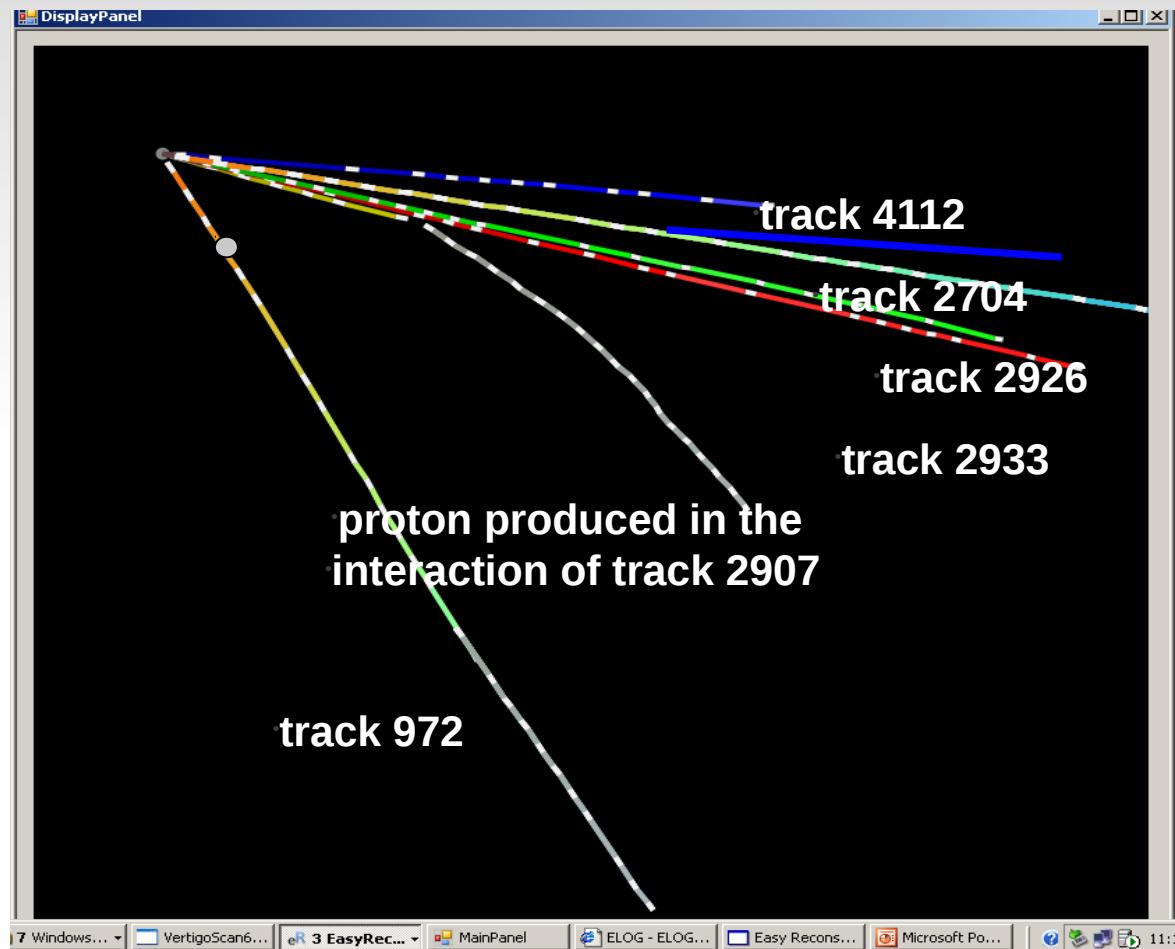
Données 2010-11 seront analysées fin 2012

# Résultats sur l'apparition de $\nu\tau$ (2)

Désintégration  
d'une particule en  
coude → 3 traces

Track	I.P. ( $\mu\text{m}$ )
2704	0.5
2926	0.8
4112	0.4

Track	I.P. ( $\mu\text{m}$ )	I.P. ( $\mu\text{m}$ ) w.r.t. 1ry
2907	0.8	19.5
972	0.8	66.7
2933	0.3	11.3



### III. Analyses réalisées au LAPP

Le canal  $\tau \rightarrow 3$  hadrons

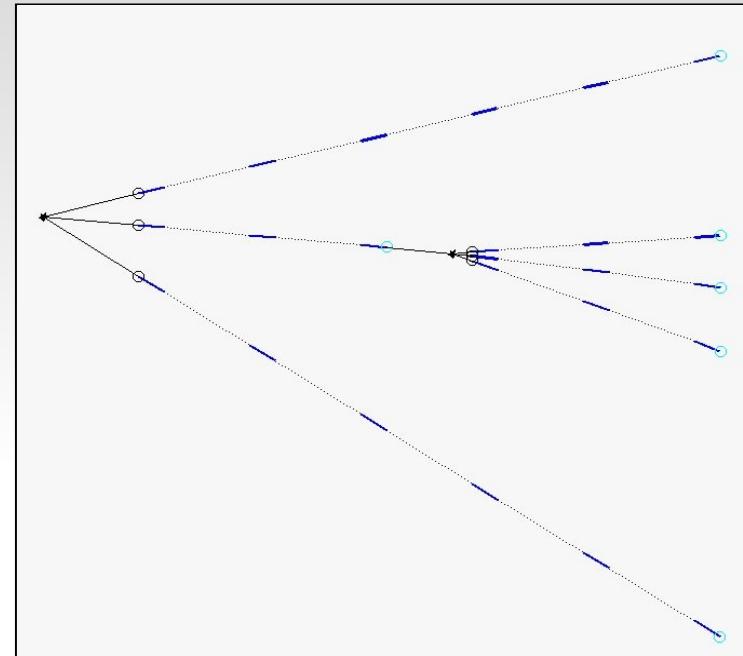
Mesure d'impulsion par diffusion coulombienne multiple

Détection d'électrons et le canal  $\tau \rightarrow$  électron

# Le canal $\tau \rightarrow 3$ hadrons

Difficultés :

- Reconnaître la topologie
  - vertex secondaire « déplacé »
  - pas de topologie « en coude »
- Reconstruire par erreur une unique trace en associant une primaire avec une secondaire



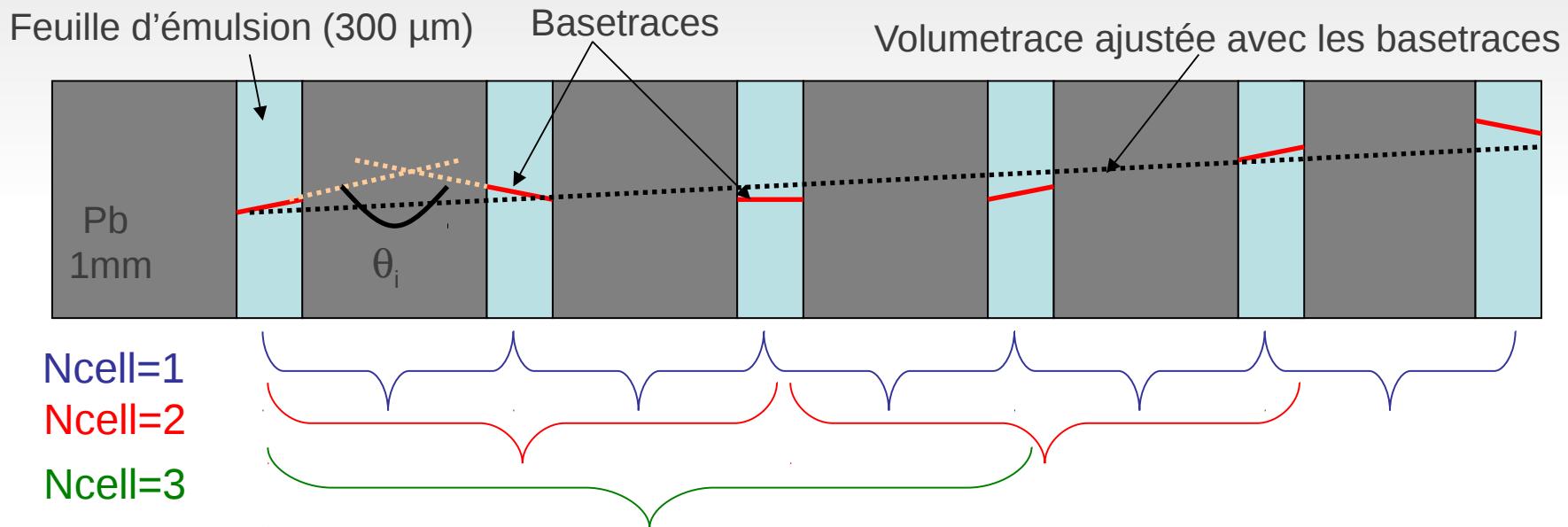
Objectifs de l'analyse :

- Recalculer les efficacités de détection dans ce canal

$\tau^- \rightarrow \mu^- \quad \nu_\tau \quad \nu_\mu$	(17.4%)
$\tau^- \rightarrow e^- \quad \nu_\tau \quad \nu_e$	(17.8%)
$\tau^- \rightarrow h^- \quad \nu_\tau \quad n(\pi^0)$	(49.5%)
$\tau^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^- \quad \nu_\tau \quad n(\pi^0)$	(14.5%)

# Mesure d'impulsion par diffusion coulombienne multiple (1)

$$\Theta_{mes}^2 = \frac{14.64^2}{(Pc\beta)^2} \times \frac{N_{cell}}{5.6} \times \left(1 + 0.038 \ln\left(\frac{N_{cell}}{X_0}\right)\right) + \delta\theta^2$$



Mesure :  $\Theta_{mes}^2 = \frac{1}{N_{mes}} \sum_{i=1}^{N_{mes}} \theta_i^2$

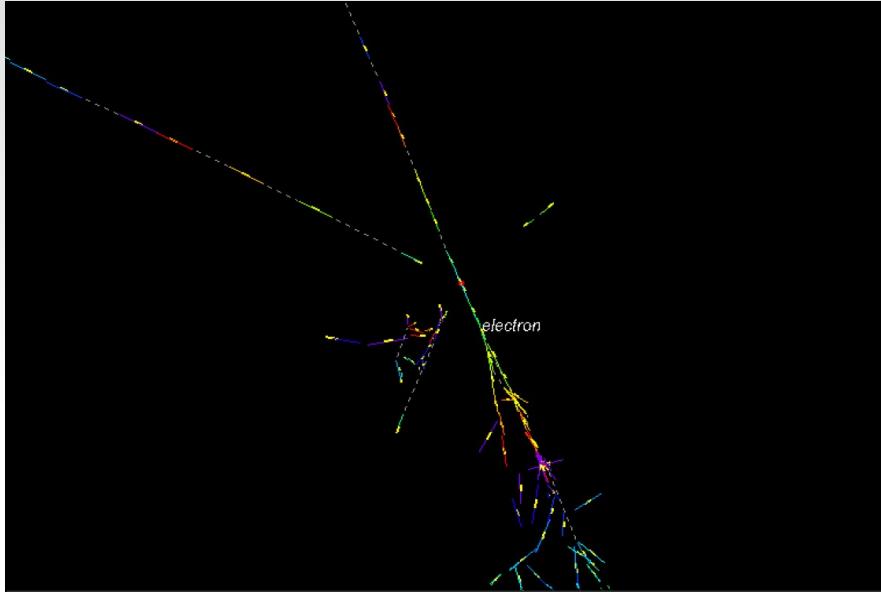
Interet : mesure d'impulsion nécessaire aux selections des evenements

Difficulté : connaissance exacte de  $\delta\theta$ , paramètre dépendant de la qualité des émulsions et du scanning

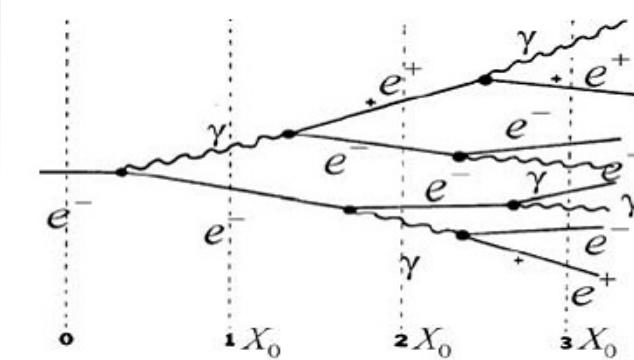
# Mesure d'impulsion par diffusion coulombienne multiple (2)

- Resultats :
- Outil en cours de publication

# Détection d'électrons dans les briques OPERA



Les électrons interagissant dans les briques OPERA génèrent des gerbes électromagnétiques



Idée : collecter les traces de manière géométrique pour reformer le développement de la gerbe

Résultat : [20 – 40]% de résolution en énergie pour des électrons ou photons de [10-2] GeV.

Difficultés : à haute énergie, les gerbes se développent sur plusieurs briques  
à basse énergie, le développement est minime < 2 GeV

# Le canal $\tau \rightarrow \text{électron}$

Intérêt :

- un canal de détection pour l'oscillation  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$  et aussi un bruit de fond important pour l'oscillation  $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$

Difficultés :

- Déetecter la topologie en coude (efficace à 20% ?)

Objectifs de l'analyse :

- Recalculer les efficacités de détection dans ce canal
- Estimer les confusions avec d'autres signaux de physique
- Avoir mon doctorat

$\tau^- \rightarrow \mu^- \nu_\tau \nu_\mu$  (17.4%)

$\tau^- \rightarrow e^- \nu_\tau \nu_e$  (17.8%)

$\tau^- \rightarrow h^- \nu_\tau n(\pi^0)$  (49.5%)

$\tau^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^- \nu_\tau n(\pi^0)$  (14.5%)

# Conclusions

- Résultats d'OPERA
  - activité ressentie importante : vitesse du neutrino, muons cosmiques, oscillation  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$
- Analyses réalisées au LAPP
  - Études des canaux  $\tau \rightarrow 3h$  : en cours
  - $\tau \rightarrow e$  : thèse en 2012
  - mesure d'impulsion MCS : publication en cours

# Backup slides