

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

Journées d'Aussois 18/10/2011

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 ν_e , ν_μ , ν_τ

(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

Leptons	Quarks	u up	c charm	t top
		d down	s strange	b bottom
		ν_e neutrino e	ν_μ neutrino μ	ν_τ neutrino τ
		e electron	μ muon	τ tau
		I	II	III
		Trois générations de matière		



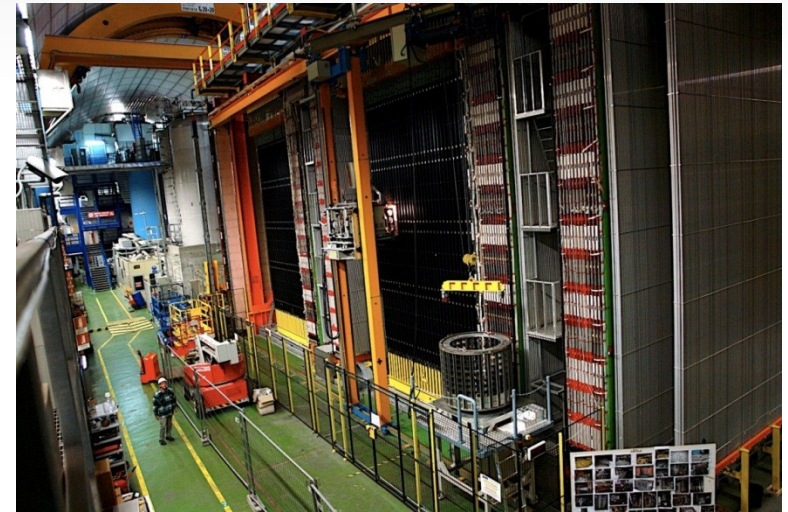
Bugey



Chooz



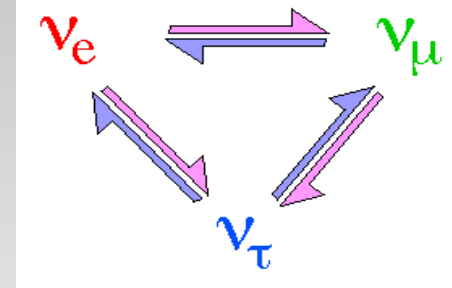
Nomad



OPERA

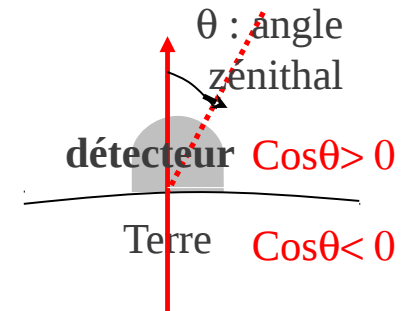
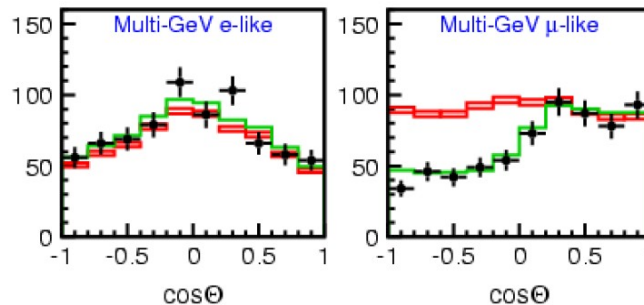
Collaboration internationale: 11 pays, 30 instituts, 160 chercheurs
=> 3 labos IN2P3: LAPP, IPNL, IPHC

Pourquoi l'expérience OPERA ?



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

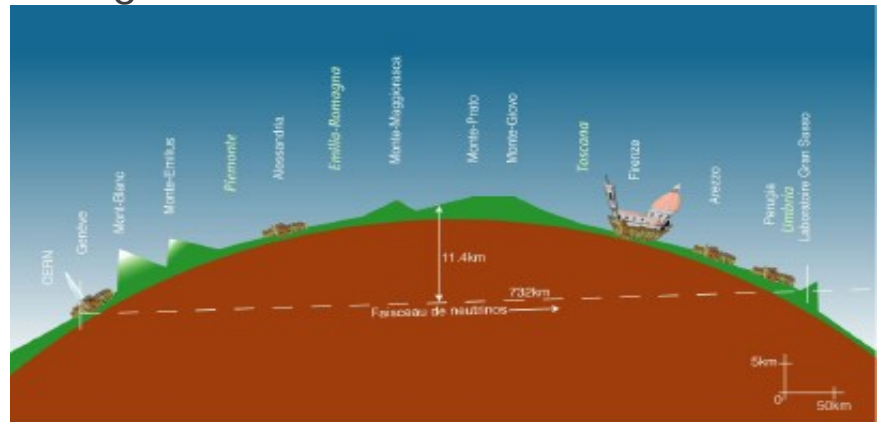
Observation d'un déficit de ν_μ par SuperKamiokande en 1998



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

Principe de l'expérience OPERA

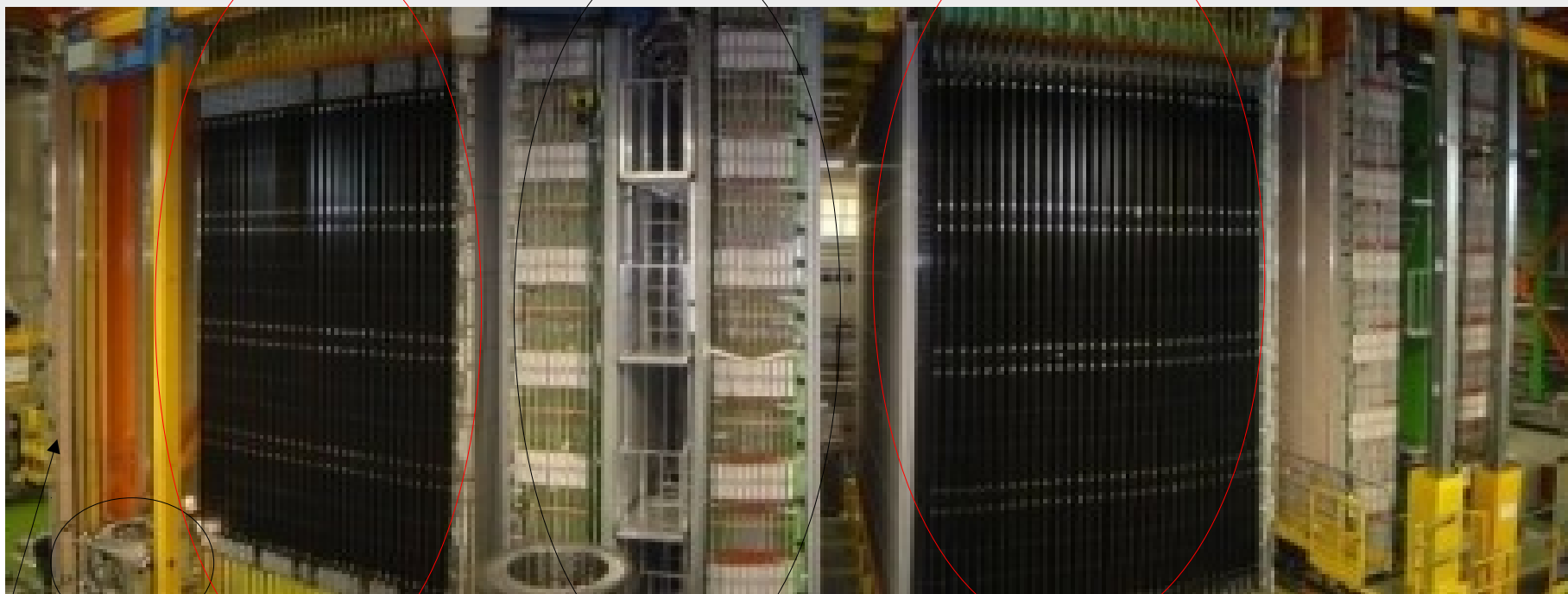
- OPERA est une expérience dite « long-baseline » sur faisceau de ν_μ créé au CERN près de Genève
- Le détecteur OPERA au Gran Sasso en Italie 732 km plus loin doit mettre en évidence l'apparition de ν_τ qui auront oscillés depuis des ν_μ
- Grâce à une bonne sensibilité de détection des électrons on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



OPERA est situé sous 1400 m de roche (3100 mwe)
~1 muon cosmique/m².h

La détection des neutrinos avec OPERA

Masse totale : 1,25kt de cible



Veto

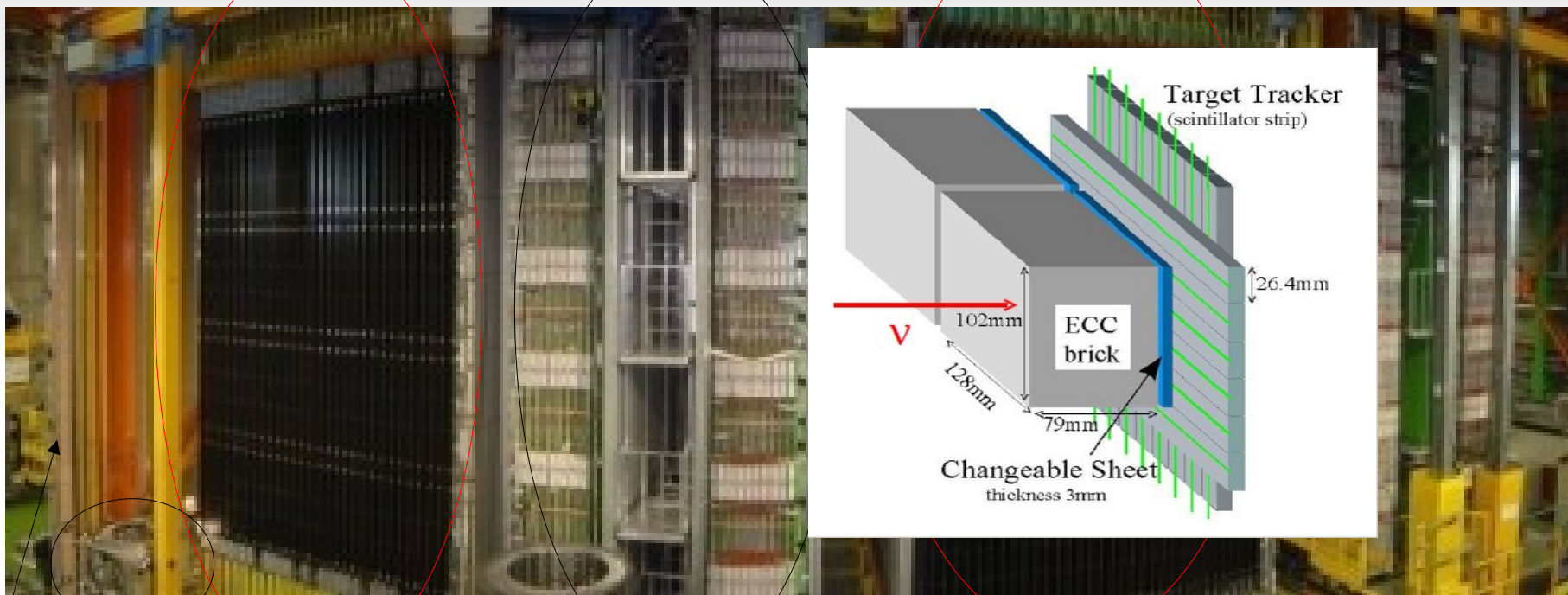
BMS

Spectromètre :
RPC, tubes à dérive
aimant

Cible :
Plans de briques+plans de scintillateurs

La détection des neutrinos avec OPERA

Masse totale : 1,25kt de cible



Veto

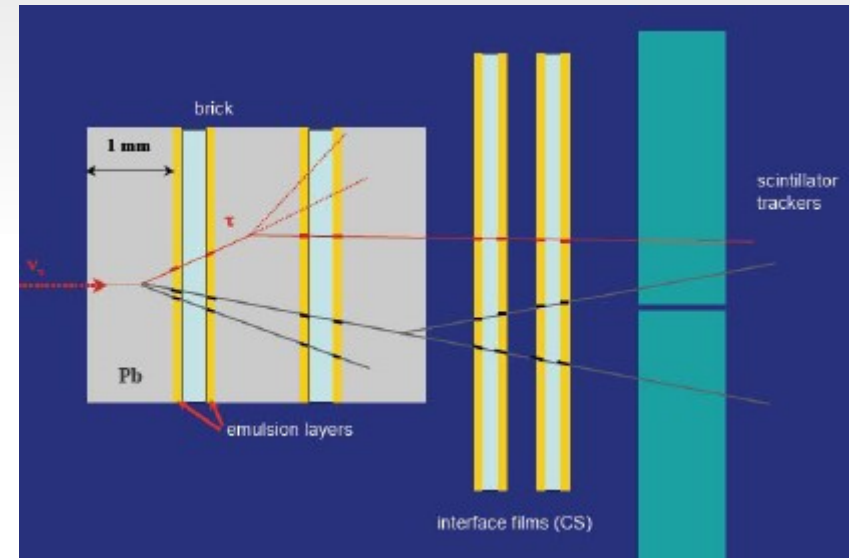
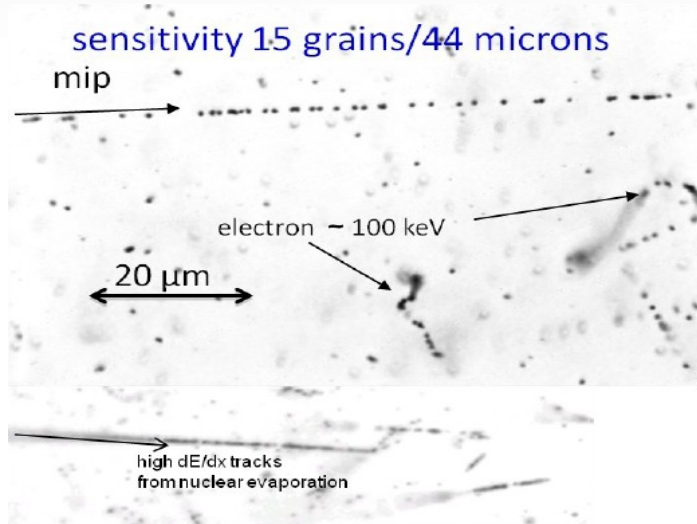
BMS

Spectromètre :
RPC, tubes à dérive
aimant

Cible :
Plans de briques+plans de scintillateurs

La détection du neutrino tau avec OPERA

- Faisceau de ν_μ intense
- Cible à grande masse fiducielle 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 $\sim 0.7 \text{ cm}$

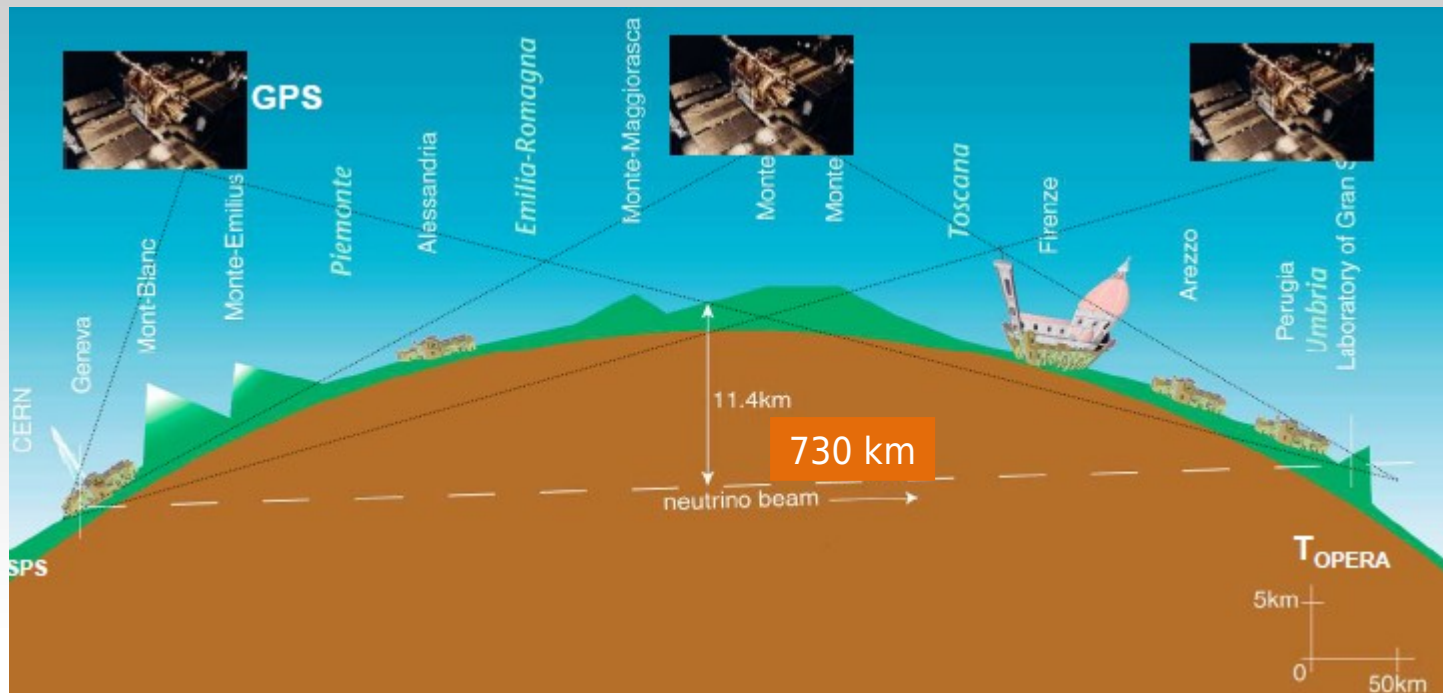
II. Des résultats d'OPERA

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 \Rightarrow CNGS au CERN,
- Étiqueter **avec précision** le temps de départ au CERN (t_0),
- faire parcourir une longue distance (L) \Rightarrow CERN \rightarrow Gran Sasso 730 km
- chronométrer le temps pris en mesurant le temps d'arrivée **précisément** dans le détecteur OPERA (t_1)

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

Ce qui va être comparé: temps pris par les neutrinos par rapport au temps pris par la lumière pour parcourir L dans le vide:

$$\delta t = L/c - (t_1 - t_0) = (1/c - 1/v_\nu) \cdot L$$

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

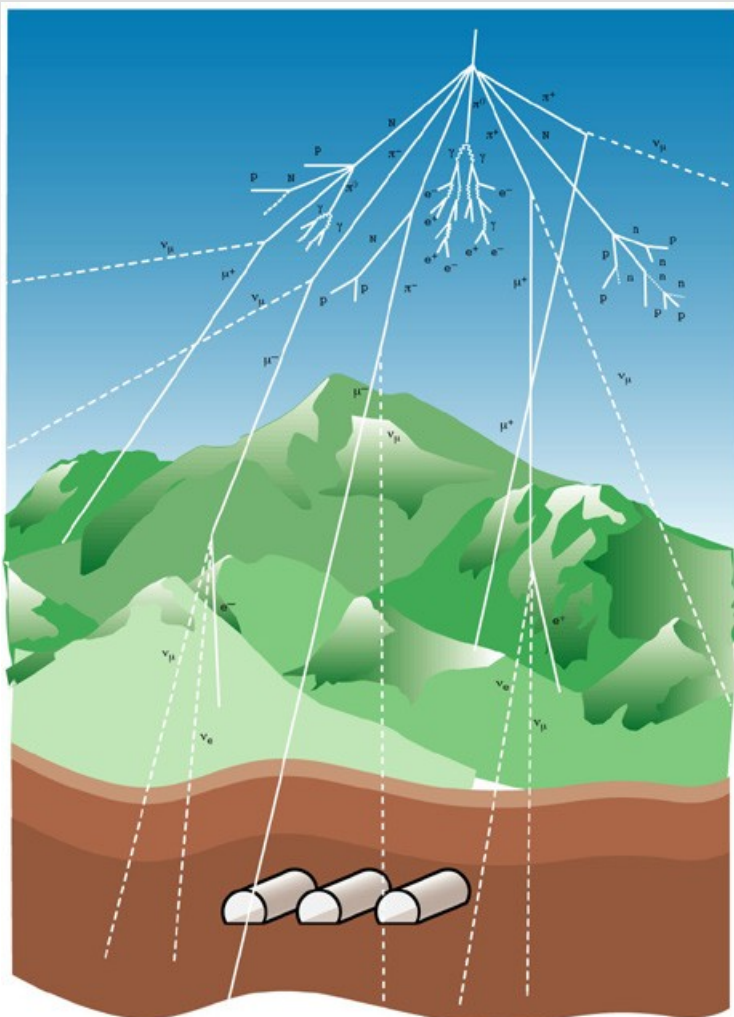
Le résultat final est alors empreint d'une précision de l'ordre de ~10 ns sur le temps de vol avec les erreurs stat. et sys. équivalentes.

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

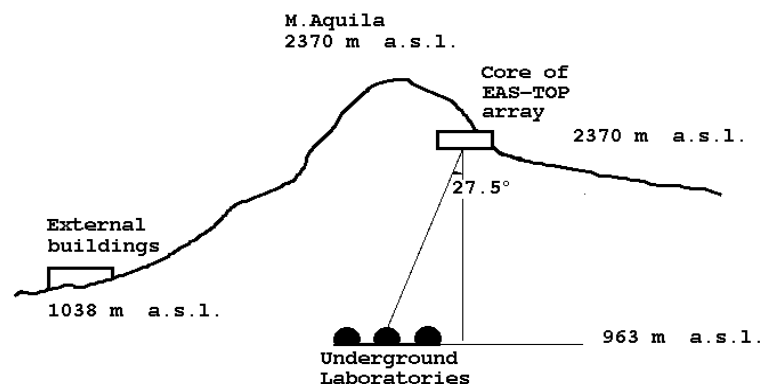
$$(v-c)/c = \delta t / (L/c - \delta t) = (2.49 \pm 0.28 \text{ (stat.)} \pm 0.30 \text{ (sys.)}) \times 10^{-5}$$

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

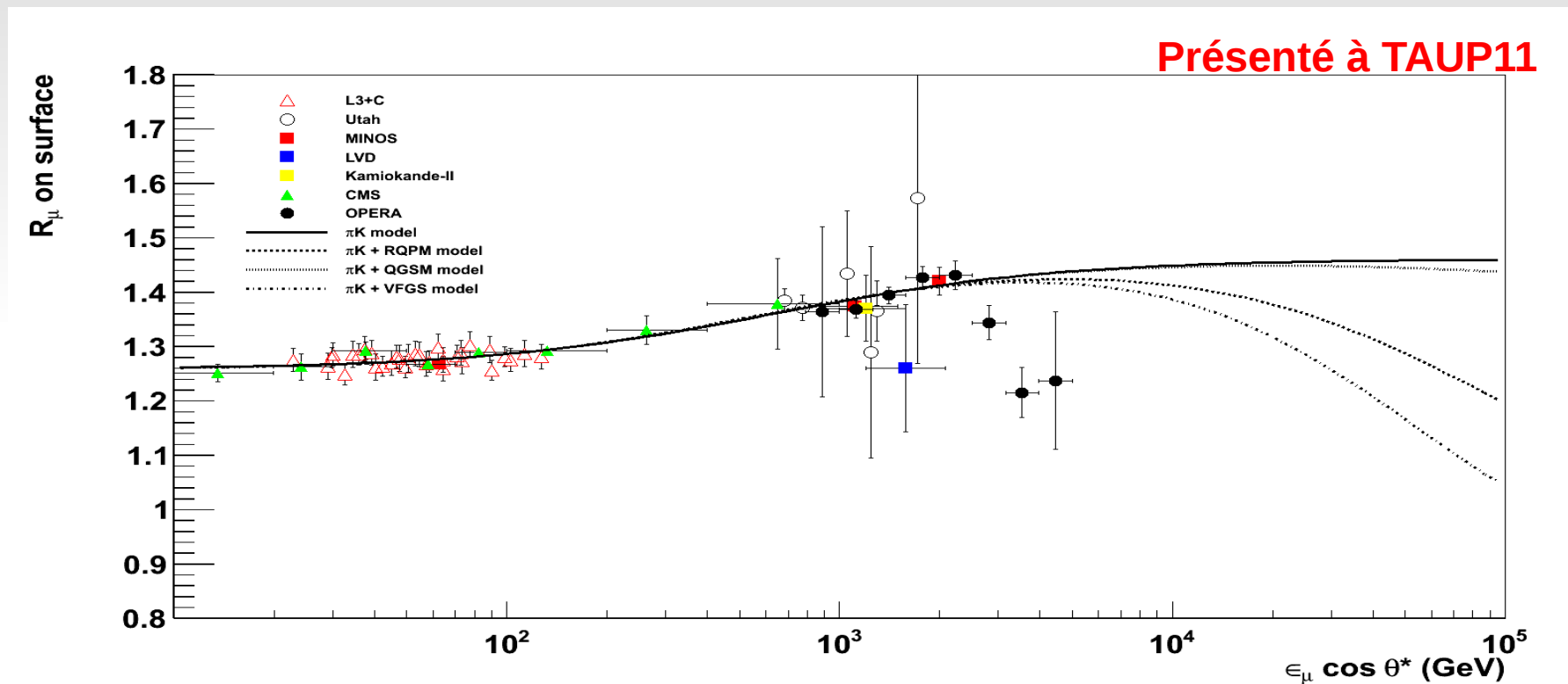
Résultats sur la mesure de muons cosmiques



- 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 contribution des muons prompts



Résultats sur la mesure de muons cosmique

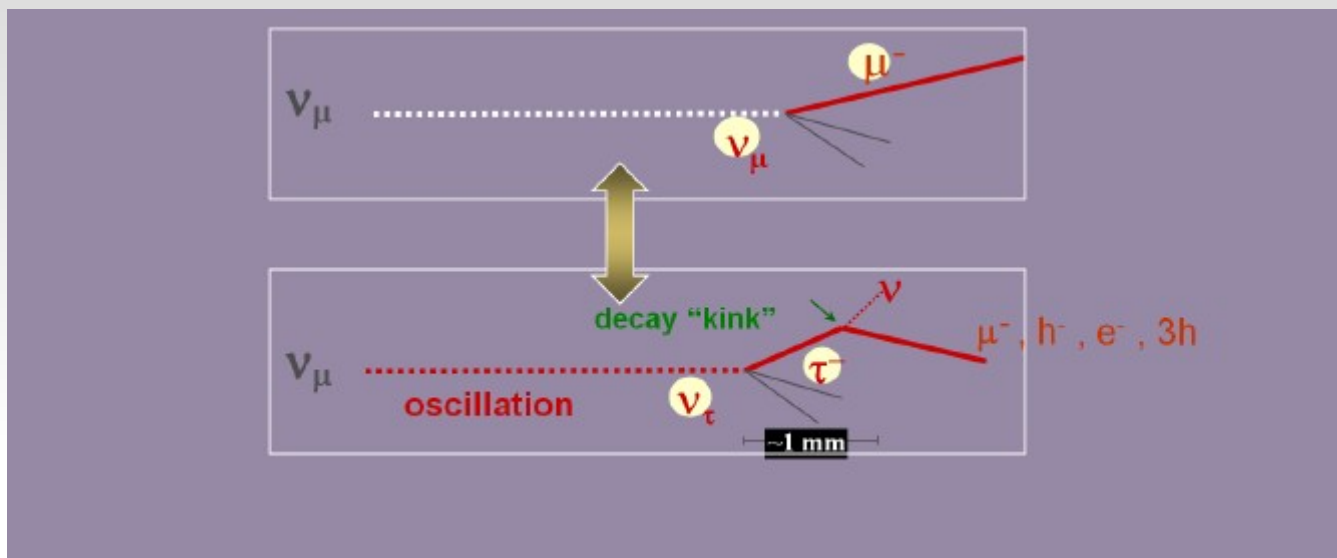


Interprétations :

- 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

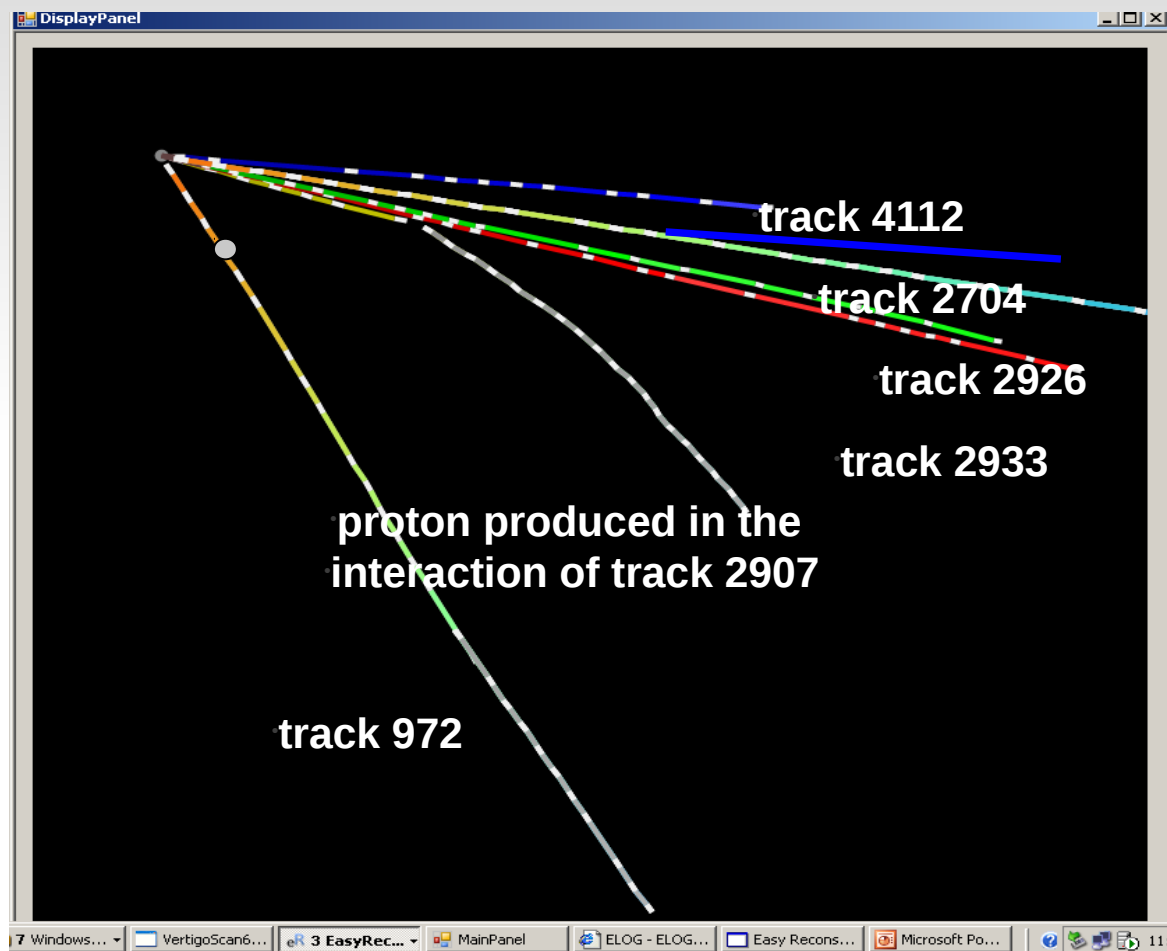
Données 2010-11 seront analysées fin 2012

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

Désintégration
d'une particule en
coude \rightarrow 3 traces

Track	I.P. (μm)
2704	0.5
2926	0.8
4112	0.4

Track	I.P. (μm)	I.P. (μm) 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

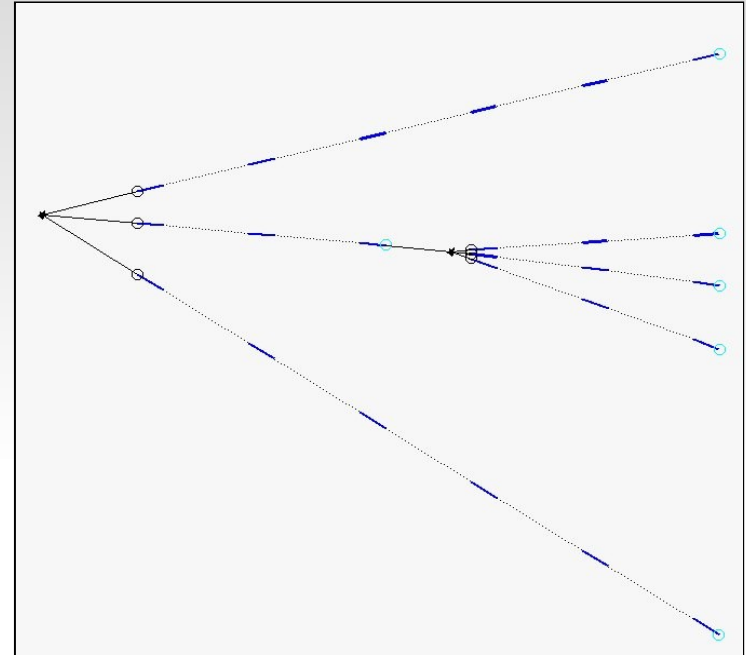
Mesure d'impulsion par diffusion coulombienne multiple

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

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

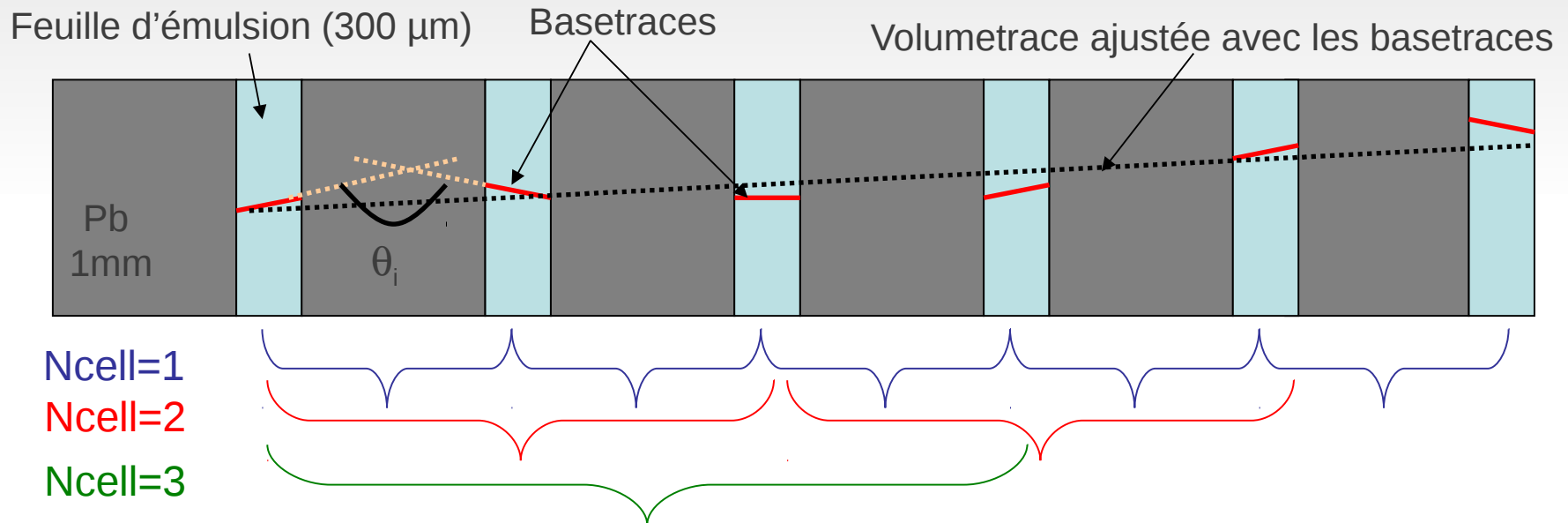
$$\tau^- \rightarrow e^- \quad \nu_\tau \quad \nu_e \quad (17.8\%)$$

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

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

Mesure d'impulsion par diffusion coulombienne multiple (1)

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



Mesure :

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

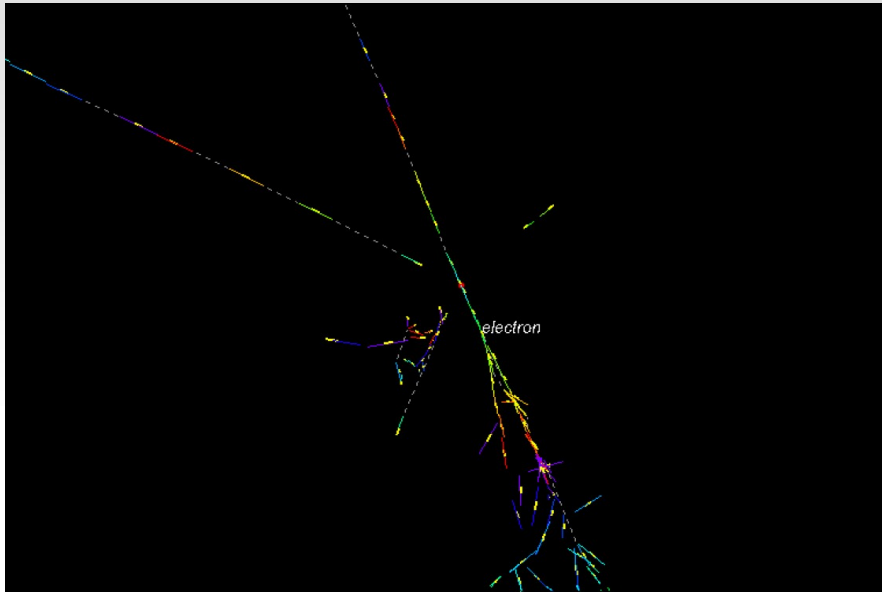
Interet : mesure d'impulsion necessaire
aux selections des evenements

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

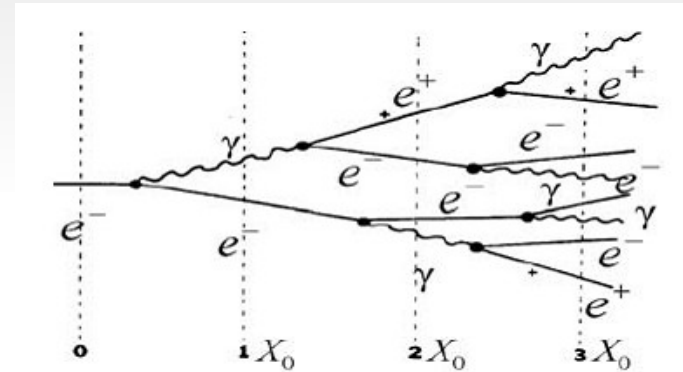
Mesure d'impulsion par diffusion coulombienne multiple (2)

- 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 :

- Détecter 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

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

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

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

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

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