



JRJC 07 – DINARD

Oscillation de neutrinos avec l'expérience OPERA



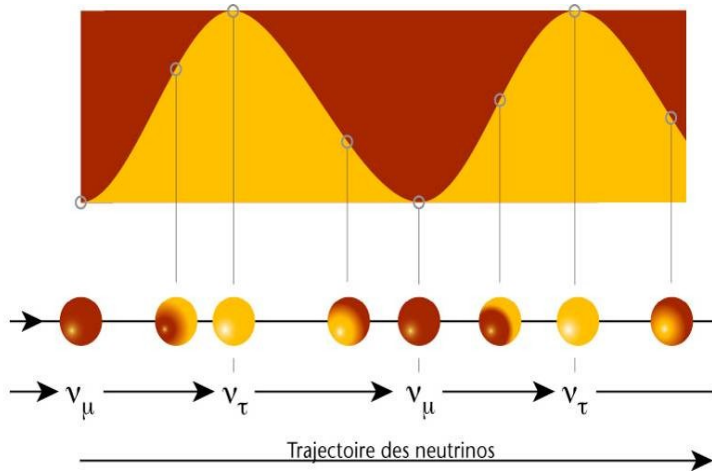
Nathalie CHON-SEN
IPHC, Strasbourg

Physique des neutrinos



Oscillation :

états propres d'interaction faible ne correspondent pas aux états propres de masse mais en sont une combinaison linéaire



$$U = \begin{pmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} \\ U_{\mu1} & U_{\mu2} & U_{\mu3} \\ U_{\tau1} & U_{\tau2} & U_{\tau3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{13} & 0 & e^{-i\delta_{CP}} s_{13} \\ 0 & 1 & 0 \\ -e^{-i\delta_{CP}} s_{13} & 0 & c_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & e^{-i\alpha_2/2} & 0 \\ 0 & 0 & e^{-i\alpha_3/2+i\delta} \end{pmatrix}$$

$c_{ij} = \cos \theta_{ij}, s_{ij} = \sin \theta_{ij}$

solaires, réacteurs atmosphériques, accélérateurs réacteurs accélérateurs violation CP phases de Majorana

Preuves expérimentales de l'oscillation :

- ✕ neutrinos solaires (Homestake, Gallex, SNO)
- ✕ neutrinos atmosphériques (SK)
- ✕ produits par accélérateurs (K2K, MINOS)
- ✕ réacteurs nucléaires (KAMLAND)

Expériences de disparition :
 observation d'un déficit du flux de neutrinos détectés par rapport aux flux de neutrinos prédits

Programme CNGS

Cern Neutrino to Gran Sasso

- **Objectif :**

Confirmation de l'oscillation dans le domaine des neutrinos atmosphériques par la mise en évidence pour la première fois de l'**apparition** de neutrinos ν_τ dans un faisceau pur de neutrinos

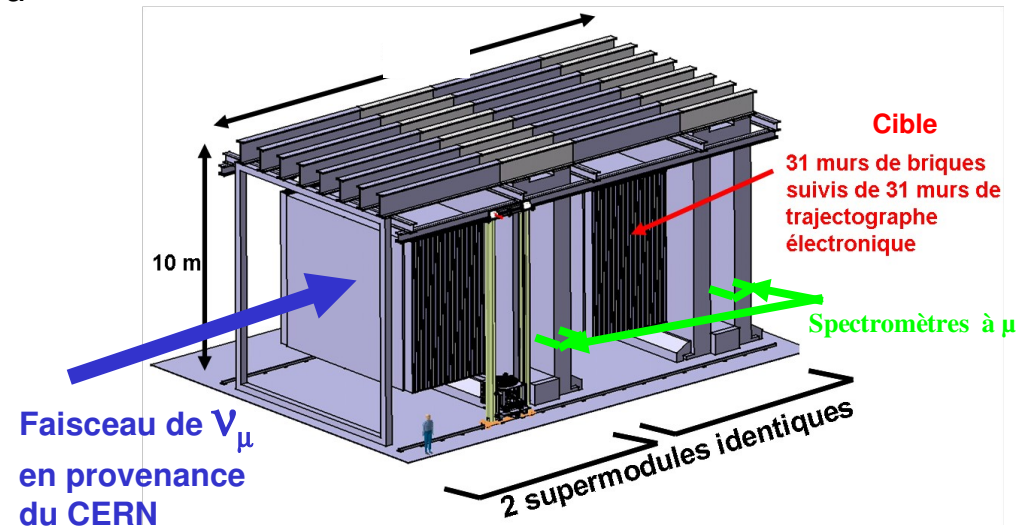
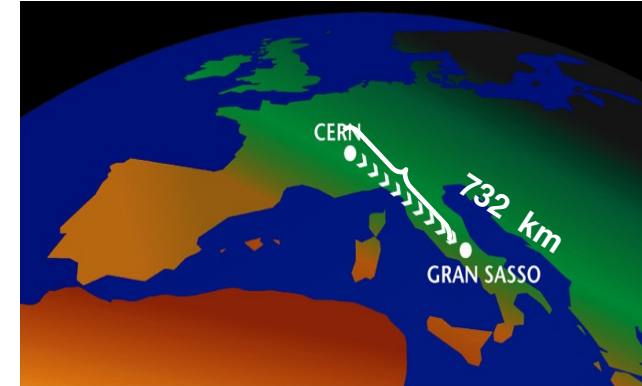
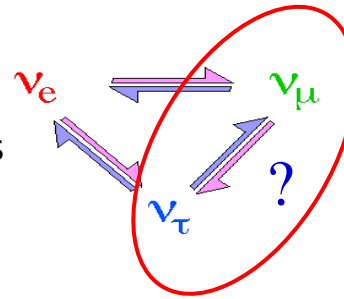
ν_μ

- **Faisceau CNGS :**

- conçu au CERN, opérationnel depuis Août 2006
- faisceau de ν_μ de 17 GeV en moyenne au niveau du laboratoire souterrain du Gran Sasso (GS) où est installé le détecteur

- **Détecteur OPERA :**

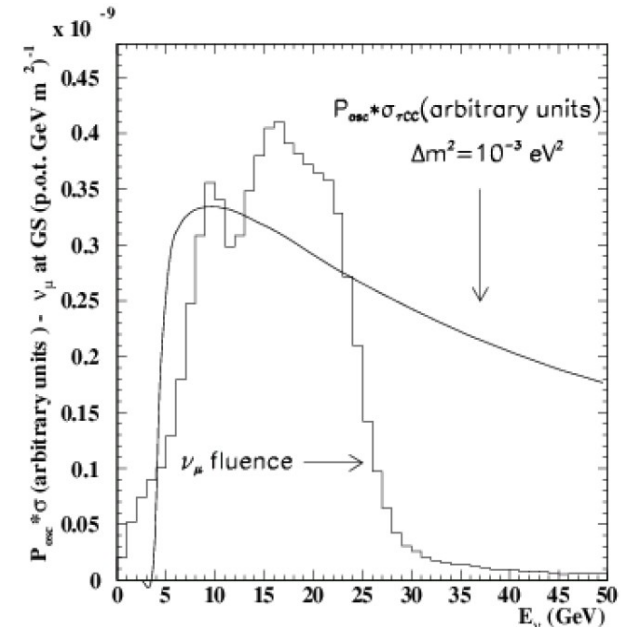
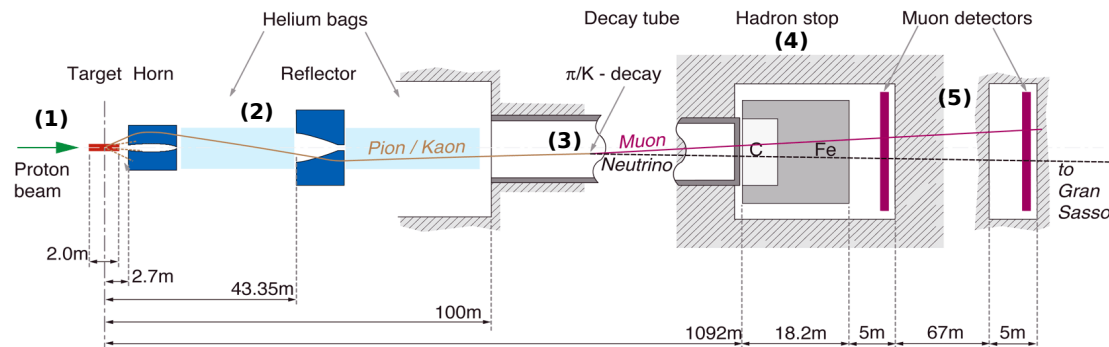
- cible est composée de murs de briques et de murs de trajectographe électronique (TT)
- spectromètre à muons



- (1)** Protons de 400 GeV du SPS dirigés sur une cible de graphite pour produire des mésons
- (2)** Mésons chargés positivement (négativement) sont focalisés (défocalisés) par la corne magnétique et le réflecteur
- (3)** Pions et kaons se désintègrent sur 1 km dans le tunnel de désintégration en ν_μ et en μ
- (4)** Mésons résiduels absorbés par les murs arrêtant les hadrons
- (5)** 2 détecteurs de muons sont utilisés pour contrôler le faisceau et estimer le flux de ν_μ

- Faisceau optimisé pour l'apparition du τ
 - ⌘ 98% des ν_τ ont une $E > 3.5$ GeV, seuil de production du τ
 - ⌘ Nombre d'interactions ν_μ CC et ν_τ CC maximisé à 17 GeV
- ➡ on s'attend au Gran Sasso à : 2900 événements ν_μ CC/kton/an et 16 événements ν_τ CC/kton/an
- Intensité du faisceau : (p.o.t = proton sur cible)
 - 4,5E19 p.o.t/an en mode partagé et 7,6E19 p.o.t/an en mode dédié
- Faisceau très pur

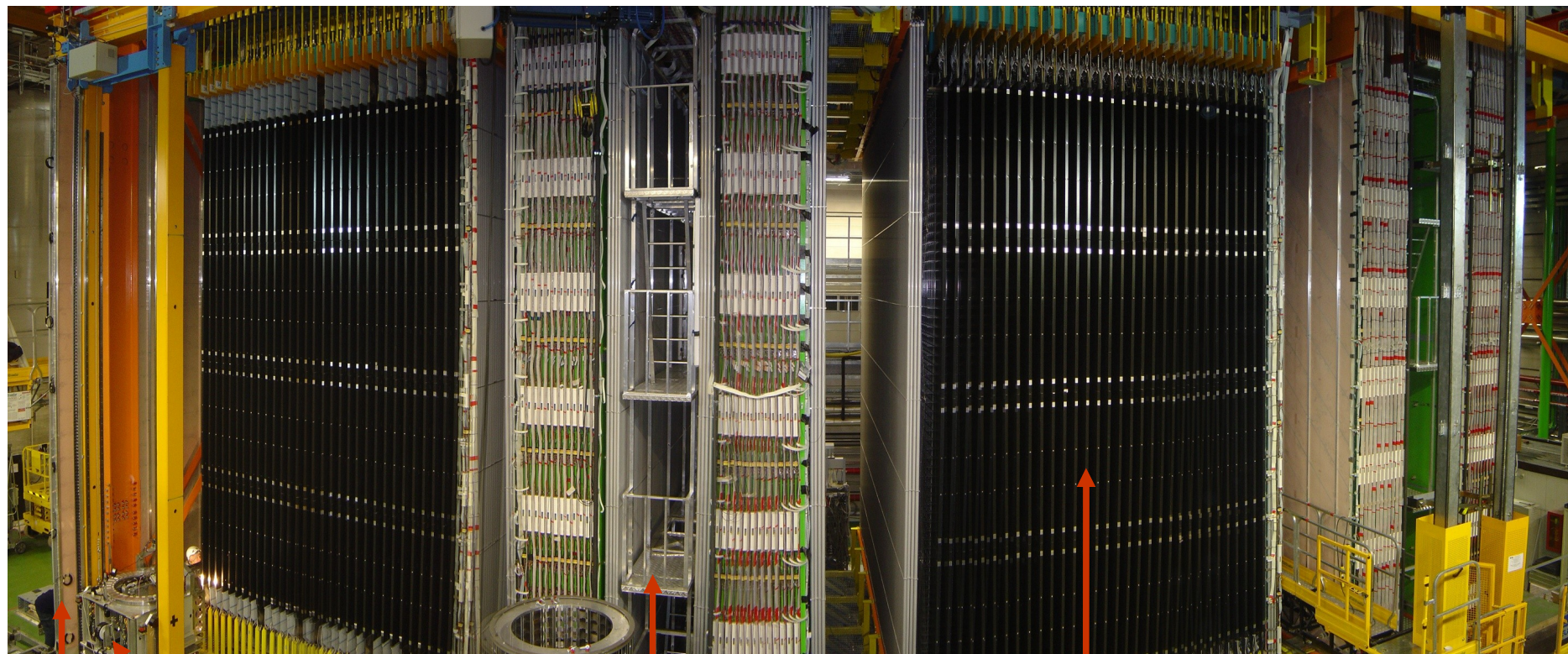
$\langle E_{\nu_\mu} \rangle$	17 GeV
$(\nu_e + \bar{\nu}_e) / \nu_\mu$	0.87%
$\bar{\nu}_\mu / \nu_\mu$	2.1%
ν_τ prompt	négligeable



DéTECTEUR OPERA

SM1

SM2



Veto

BMS

Brick Manipulating System,
Manipulateur de briques

Spectromètre

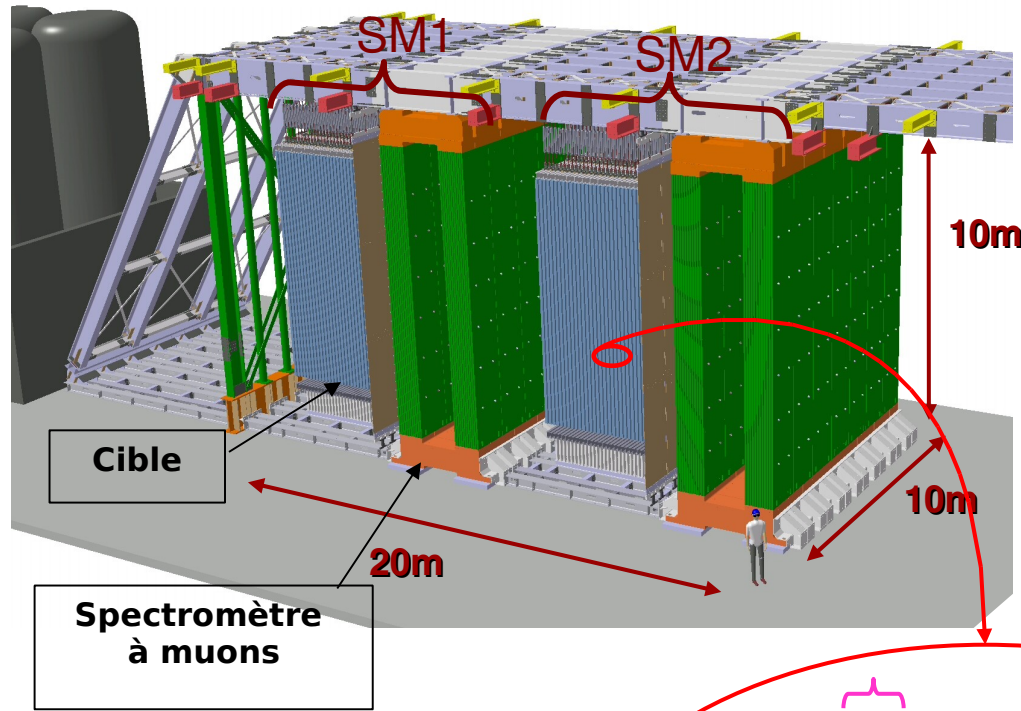
trajectographe électronique (TT)

Détecteur OPERA



Oscillation Project with Emulsion tRacking Apparatus

Gran Sasso, Hall C



2 supermodules identiques :

cible + spectromètre à muons
α cible : trajectographe électronique (Target Tracker TT) 31 murs de TT/supermodule contenant ~2500 briques chacun

➡ **Masse de la cible : 1.35 ktons**

α spectromètre à muons, RPC, tubes à dérive, aimant 1.5T

Spectromètre à muons

α automate pour extraire la brique candidate
α scanning par un microscope automatique

Détecteur électronique pour localiser la brique candidate contenant l'interaction

Mur de brique

Les briques de plomb/émulsion



Détection de la désintégration du τ ($\sim 10^{-13}$ s ; $c\tau \sim 87$ μm) topologies des interactions ν_τ CC

résolution micrométrique
=> émulsions photographiques

masse de la cible importante
=> Plomb

Structure modulaire : les briques

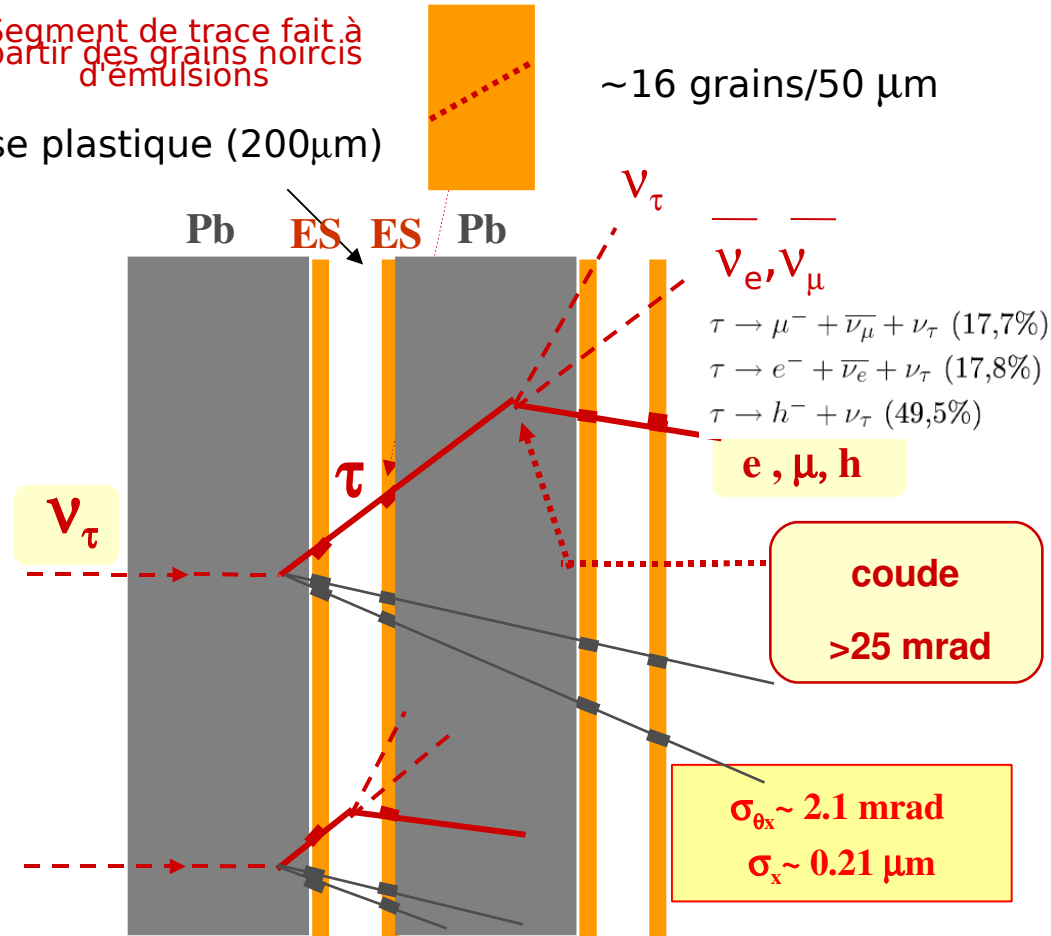
Sandwich de 56 (1mm) feuilles de Pb
+ 57 émulsions photographiques FUJI
+ espacées par des bases en plastique
servant de support mécanique



Segment de trace fait à partir des grains noircis d'émulsions

base plastique (200 μm)

~ 16 grains/50 μm

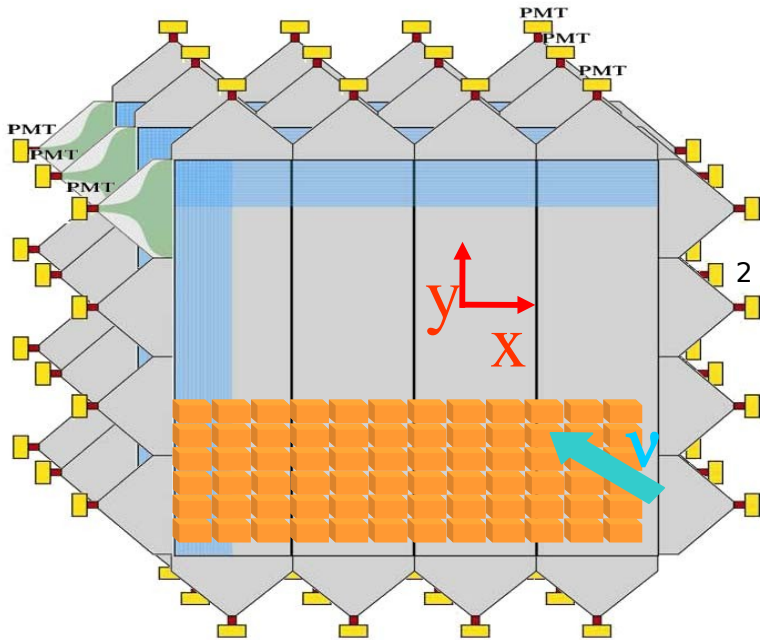


Trajectographe électronique (TT)

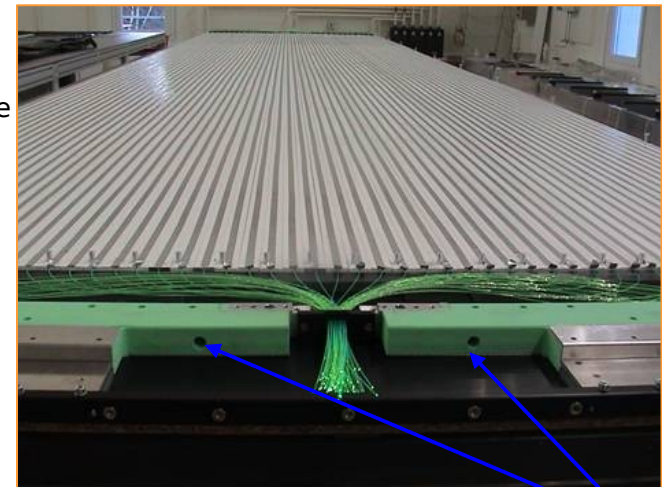
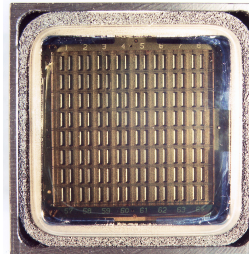


Rôle = Localiser en temps réel et en 3D la brique contenant l'interaction

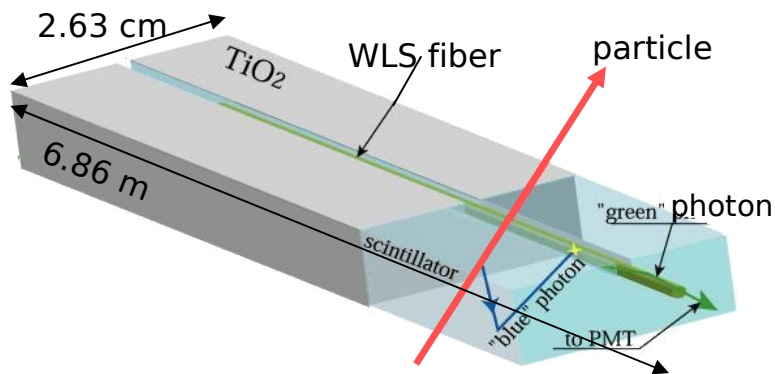
1 module = 64 barreaux de scintillateur plastique
+ 64 fibres à décalage de longueur d'onde
+ photomultiplicateur (PM) multianode
64 voies HAMAMATSU



2 PM multianode 64 voies/module



Système d'injection de lumière (LED)



$N_{pe} > 5$ p.e. pour une mip (2.15 MeV)
efficacité de déclenchement (trigger) ~99%
efficacité de localisation de la brique ~80%

Etalonnage directement après la construction



But :

- Plus de **500 modules** entièrement fabriqués à l'IPHC
- Vérifier le bon fonctionnement des modules juste après leur construction
- Déterminer le **nombre de photoélectrons** en fonction de la **distance** le long du barreau de scintillateur

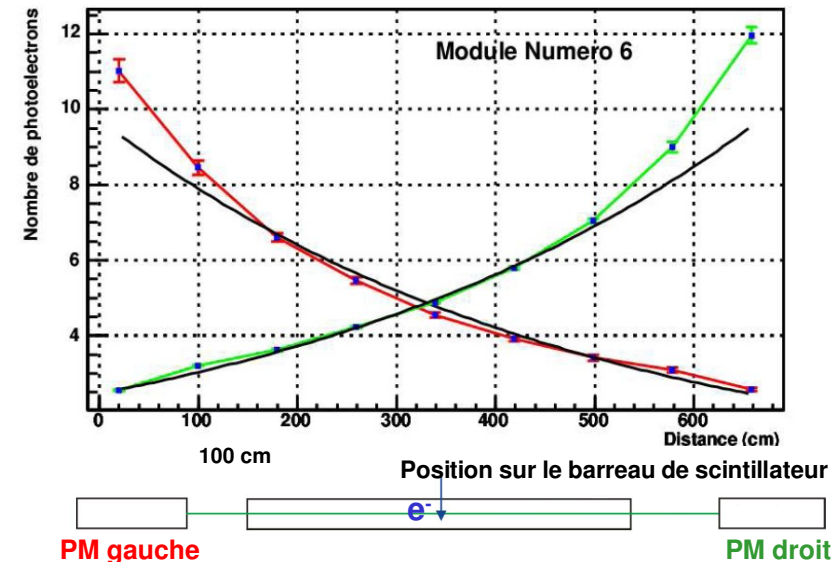
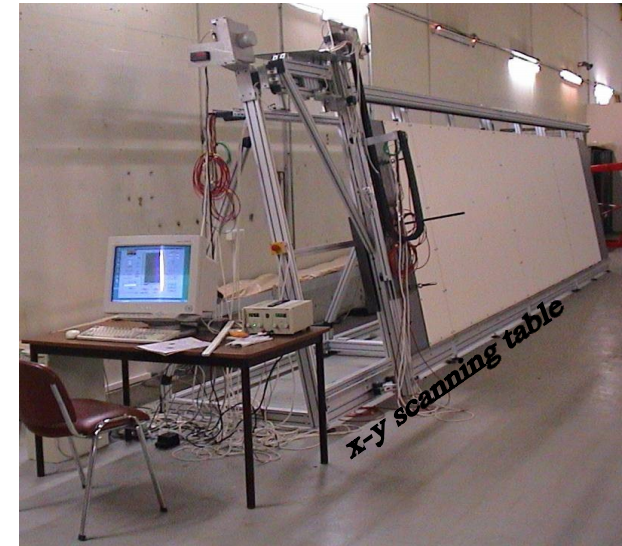
Exigences :

- étanchéité à la lumière => réduction du bruit de fond (notre détecteur est basé sur les signaux lumineux produits par les particules traversant les scintillateurs plastiques)
- au minimum 4 photoélectrons au milieu du barreau de scintillateur pour une mip de 2,15 MeV dans 1cm

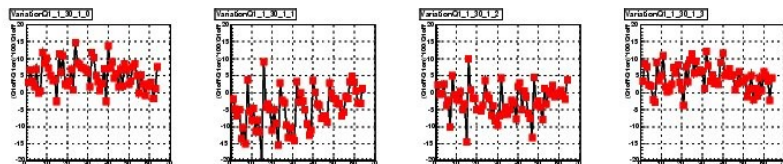
Moyens :

Table automatisée équipée de 2 spectromètres à électrons réglés à 1,8 MeV

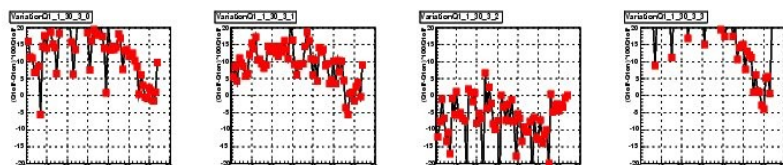
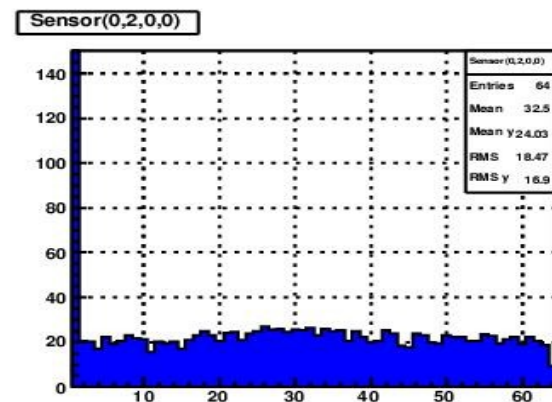
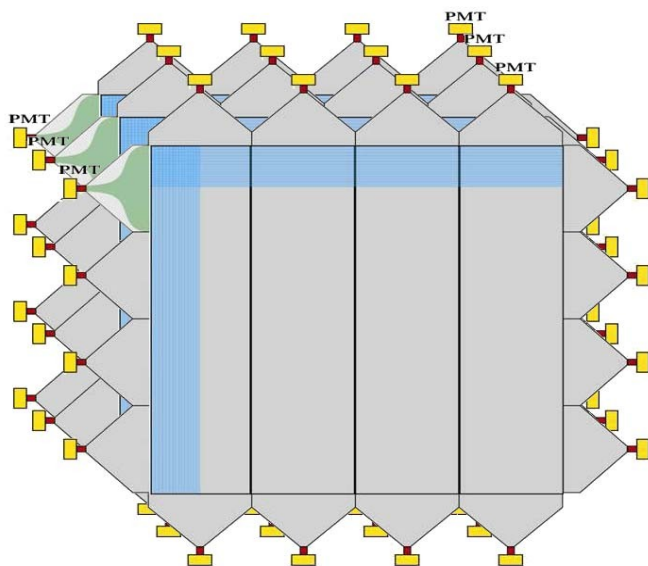
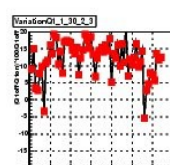
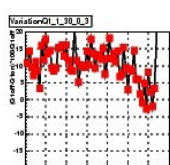
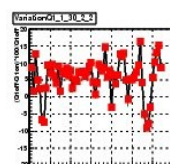
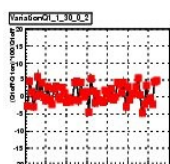
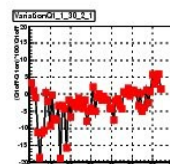
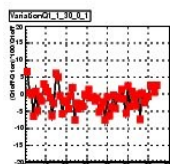
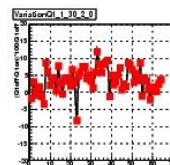
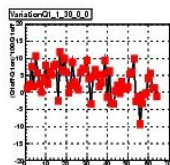
- Test de chaque barreau de scintillateur de chaque module en 9 points
- Résultats conservés dans une base de données



Blindage magnétique, fuites de lumière...



- Étude de l'influence du **champ magnétique** de 1.5 T émis par le spectromètre sur gains des PM :
=> variation jusque 20%

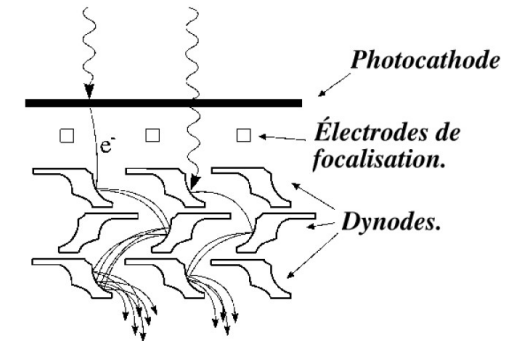


- Mesure du **taux de déclenchement** par canal du PM
 \propto effet d'écran des briques 50Hz => 20 Hz
 \propto mise en évidence des fuites de lumières

Caractérisation des photomultiplicateurs (PM)



- **992 PM** multinanodes 64 voies dans OPERA
soit $992 \times 64 = \mathbf{63488}$ canaux : vérification de leur fonctionnement après leur transport jusqu'en Italie et leur installation dans le détecteur OPERA
- **Déterminer les gains** de manière précise est important pour l'analyse globale d'OPERA (reconstruction de l'énergie déposée par les particules dans le TT, détermination l'efficacité de trigger)



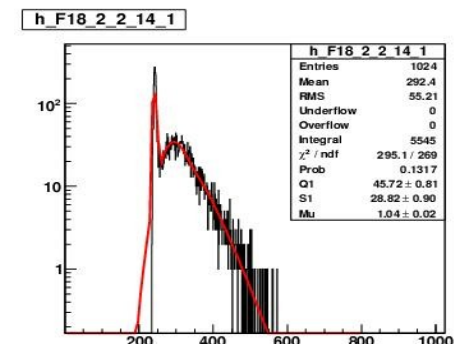
⌘ système de calibration intégré au module

⌘ **Paramétrisation du signal** : convolution entre une distribution poissonnienne (effet photoélectrique) et de gaussiennes (amplification par le système de dynode + bruit électronique)



⌘ **Définition d'une procédure automatique**

=> évolution au cours du temps et détections des différents problèmes (cartes électroniques à changer, tensions des LED à ajuster)



Etude des cosmiques : Août06

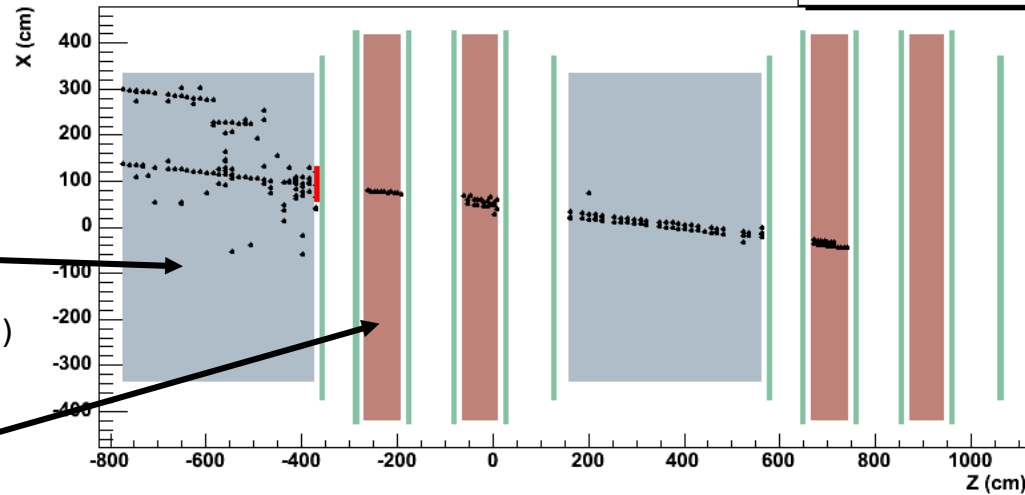


Avant la prise de données avec le faisceau, l'étude des cosmiques avait permis de préparer les détecteurs électroniques

4 muons cosmiques

TOP VIEW (horizontal projection)

Event Number 93038

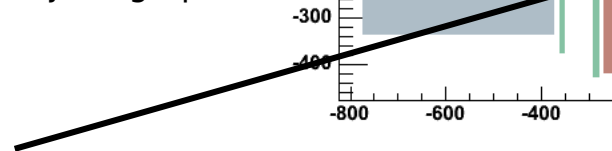


Vue de dessus

Cible

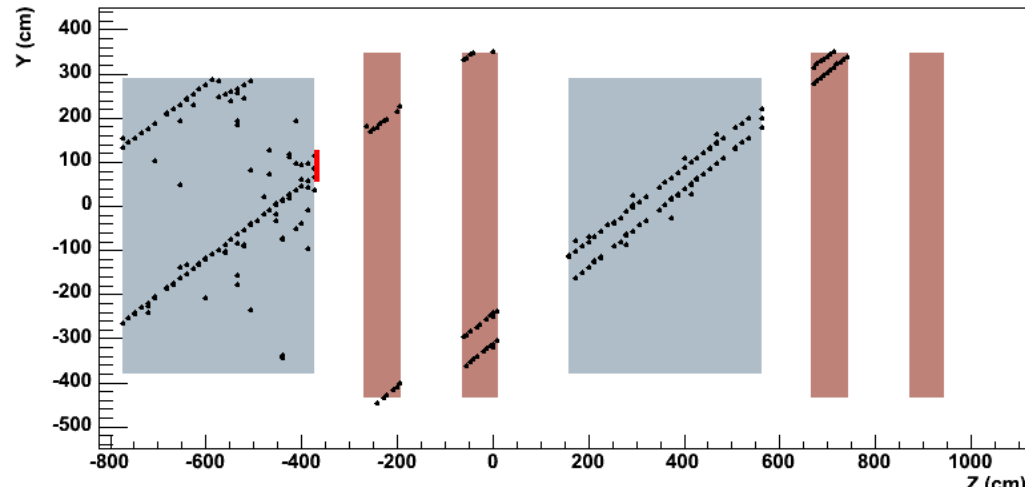


(murs de briques (vides) + trajectographe)



Spectromètre à muons

SIDE VIEW (Vertical projection)

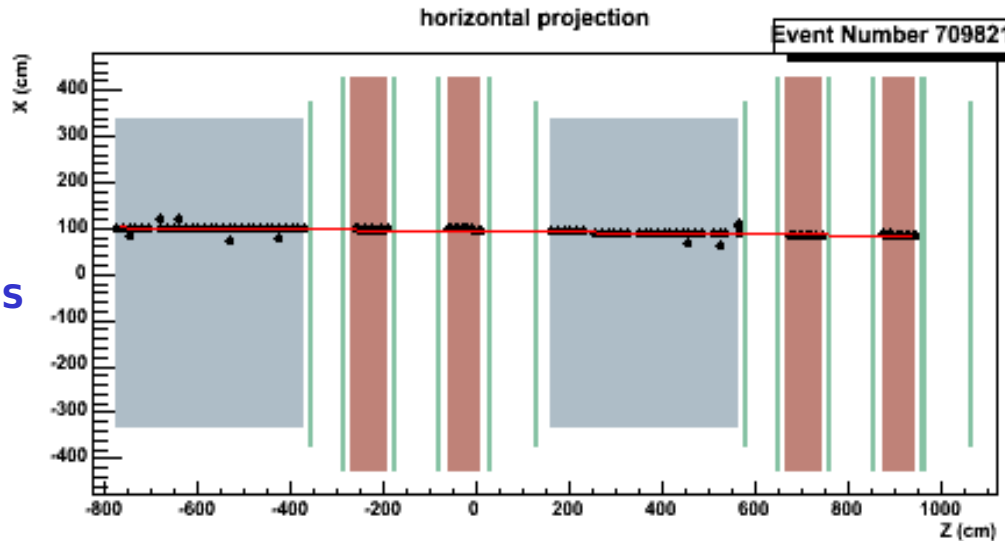


Vue de côté

Première prise de données avec faisceau : Août06



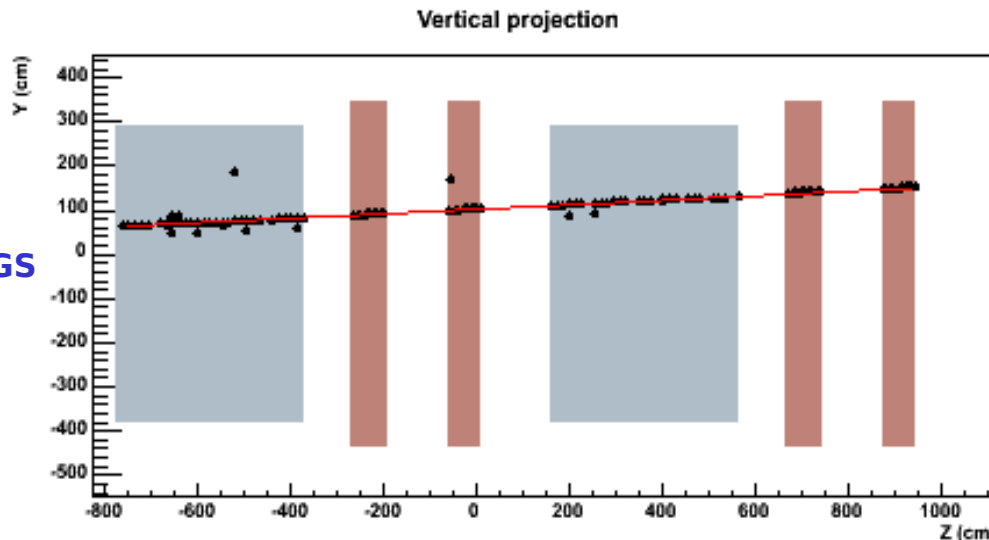
Faisceau CNGS →



Vue de dessus

- Premières données enregistrées avec les détecteurs électroniques uniquement, **pas de briques**
- Etude des événements synchronisés en temps avec le faisceau : 319

Faisceau CNGS →



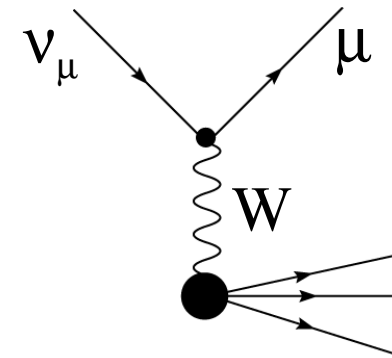
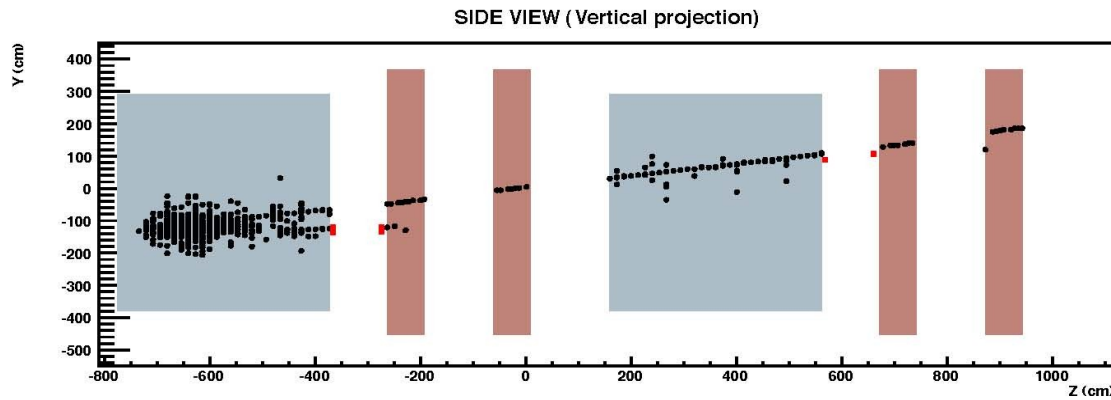
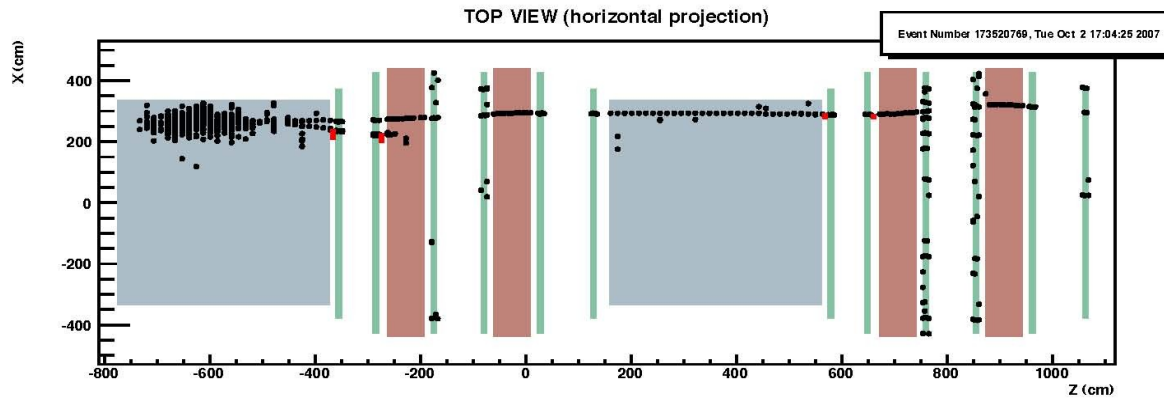
Vue de côté

70% interactions dans la roche + Borexino (223 évts)

30% dans les aimants (96 évts)

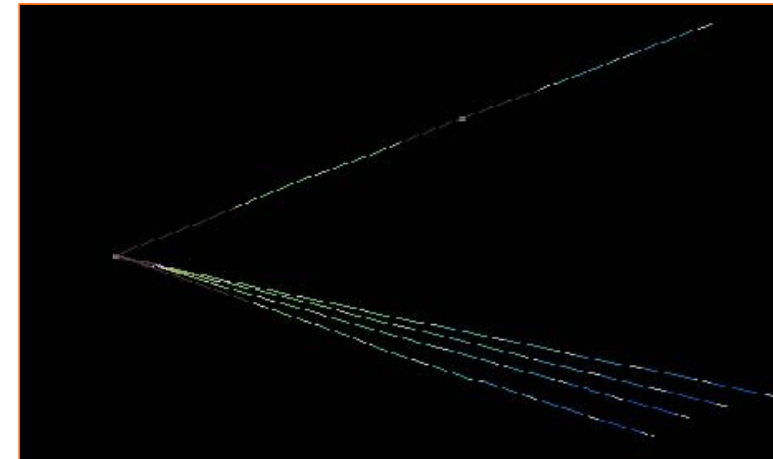
Exemple de muon issu de l'interaction du ν_μ du faisceau dans la roche en amont du détecteur

Données de Septembre 07

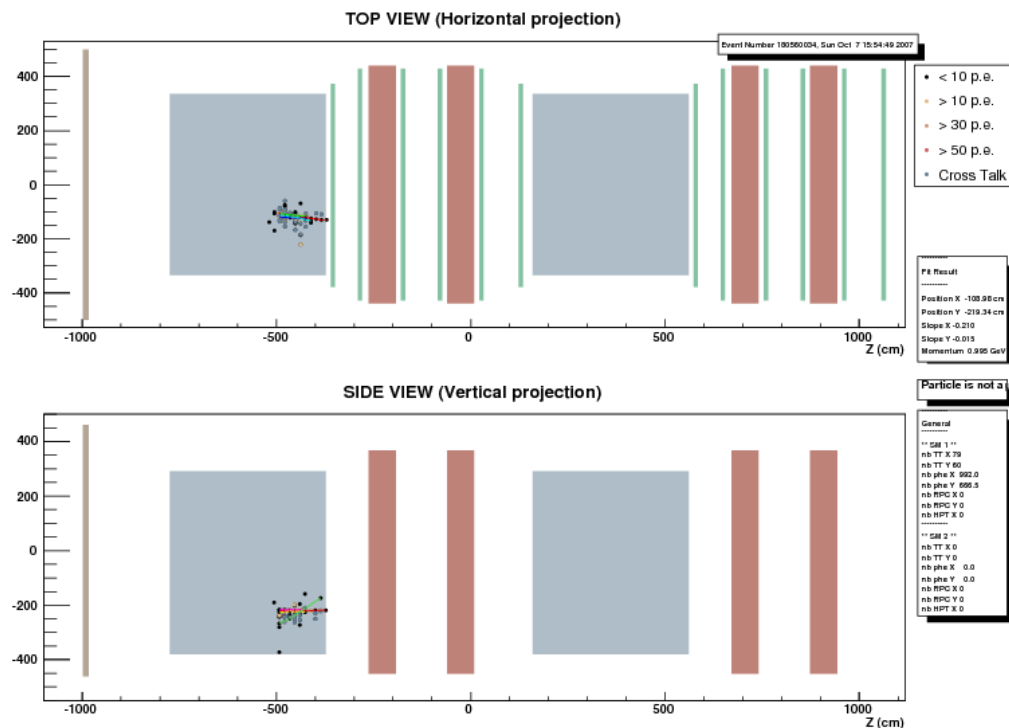


Premier événement dans les briques d'OPERA : ν_{μ} CC

Au total **446** événements
dont **38** interactions
par CC dans les briques :
29 ν_{μ} CC et **9 ν_{μ} NC**



Courant neutre



Différenciation des événements courant neutre et des événements $\tau \rightarrow e$

- ⌘ Différenciation des e/π dans les émulsions basée sur un réseau de neurones.
- ⌘ Difficulté lorsque l'énergie est inférieure à 2 GeV ou lorsque l'interaction a eu lieu dans les derniers centimètres de la brique.
- ⌘ Utilisation de l'information déposée dans le trajectographe pour aider à l'identification des événements.

➡ Etude en complément et en corrélation avec le travail dans les émulsions.

miniTT (“mini Target Tracker”)

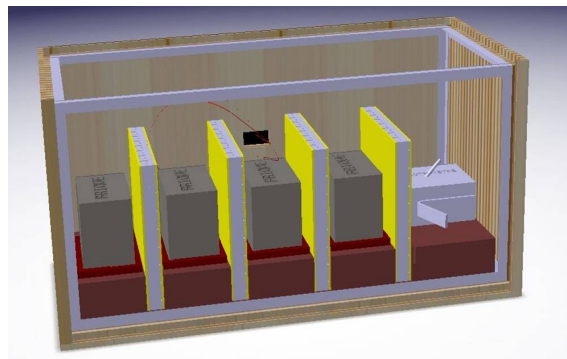


Objectif :

étudier le signal déposé dans le TT par les e⁻ et les π⁻ en fonction de leur énergie et de la position du vertex d'interaction dans la brique

Description du dispositif expérimental :

- ⌘ Dispositif fabriqué à partir des mêmes matériaux que ceux utilisés dans les murs de TT
- ⌘ 8 modules agencés 2 par 2 pour former un repère en 2D
- ⌘ table automatisée XY permettant l'alignement avec le faisceau
- ⌘ 2 scintillateurs de trigger positionnés en X-Y devant le miniTT pour être sûr d'être centré sur la première brique
- ⌘ vertex d'interaction localisé grâce à la première brique de taille variable



1ère brique à taille variable

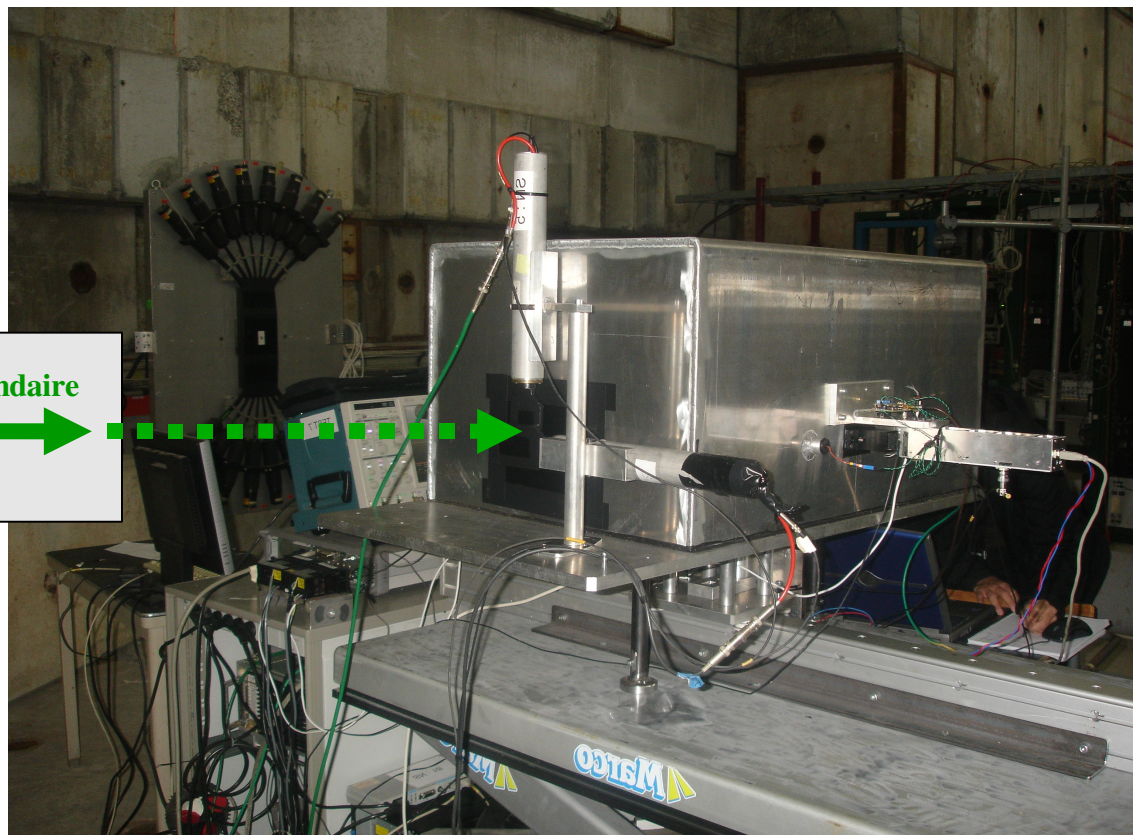


miniTT (“mini Target Tracker”)



Contrôle du faisceau T9 au PS du CERN :

- ⌘ 2 périodes de tests en faisceau en Juin et Septembre 2007
- ⌘ protons du SPS de 400 GeV sur une cible de Be + convertisseur W pour augmenter le nombre d'e-
- ⌘ réglage de l'énergie du faisceau de 1 à 6 GeV
- ⌘ réglage des 2 cerenkov (CO₂) de 3 et 5m de long permettant (trigger) de distinguer les e- des π -

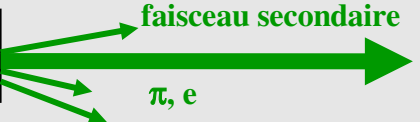


faisceau primaire
400 GeV protons



faisceau secondaire

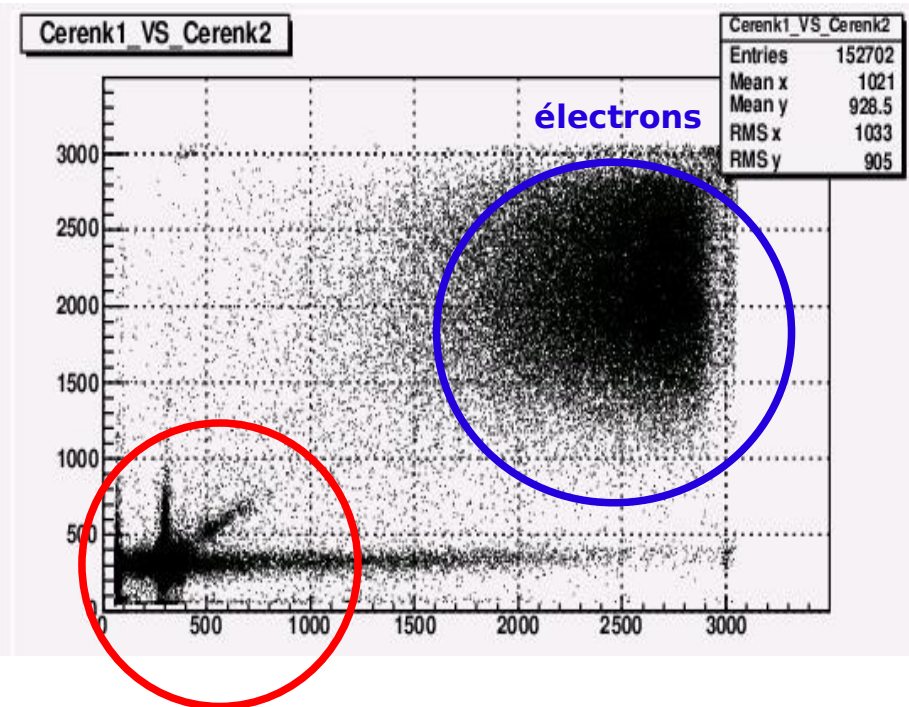
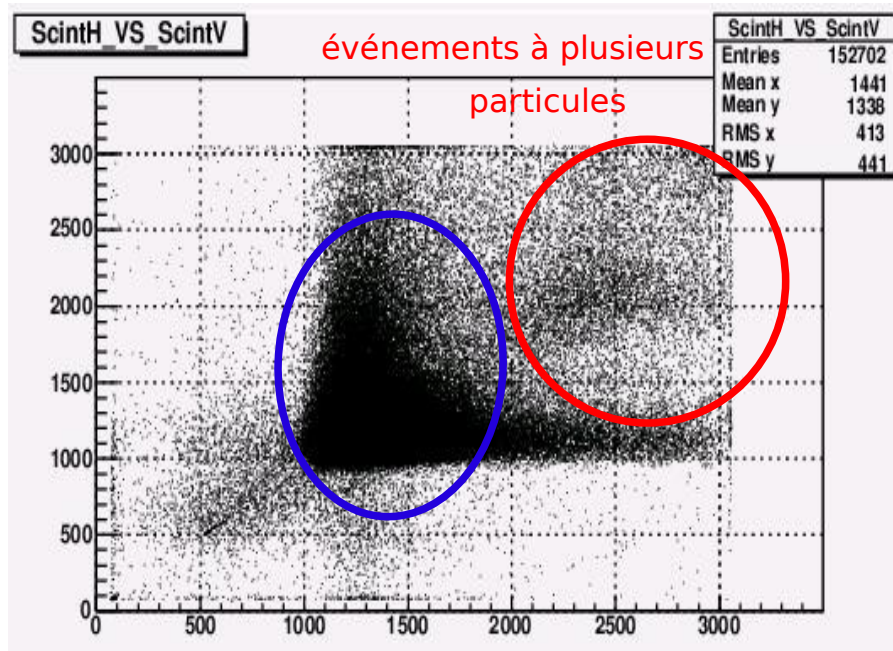
π, e



miniTT (“mini Target Tracker”)



- Analyse des données prises au CERN en Septembre 2007, celles de Juin07 avait une dynamique d'ADC limitée
- Coupure sur les scintillateurs de trigger en entrée et sur les cerenkov pour distinguer les π^- des e^-

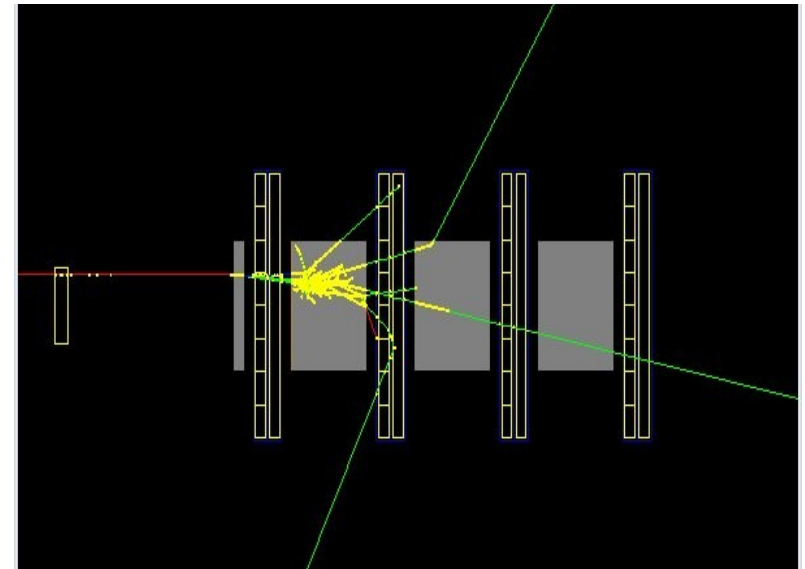
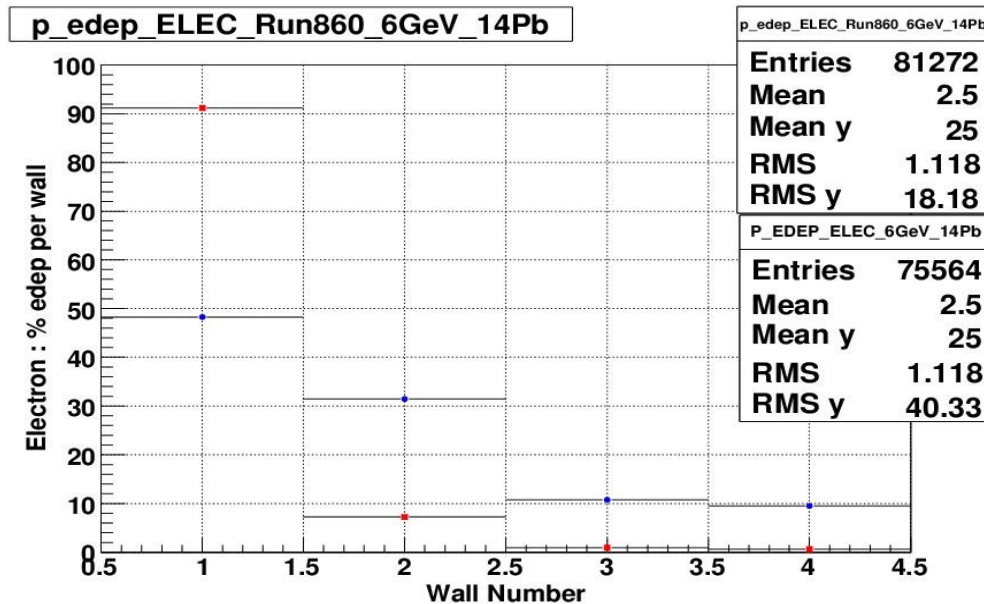


contamination du faisceau

miniTT (“mini Target Tracker”)



- Calcul de l'énergie déposée dans les murs de miniTT en fonction du type de particule
- Comparaison avec la simulation effectuée sous Géant 4



- Digitization
 - ∝ résolution au niveau des gains
 - ∝ diaphonie

Conclusion



Détecteur OPERA est fonctionnel :

- ⌘ Principe de détection expérimental des oscillations validé
- ⌘ Attente du développement des briques en cours et de la mise en évidence du tau

Identification des e- dans l'expérience OPERA :

Analyse complémentaire à celle des émulsions devrait contribuer à reconnaître les différentes topologies d'événements.