



Le neutrino, pas si élémentaire

J.MARTEAU
Institut de Physique Nucléaire de Lyon
Université de Lyon UCBL – CNRS/IN2P3
marteau@ipnl.in2p3.fr



Quelques repères

■ Le neutrino, qu'est-ce-que c'est ?

Une particule élémentaire, sensible l'interaction faible, difficile à saisir : « *la quantité de matière la plus petite jamais imaginée par un être humain...* » (F.Reines)

■ Les oscillations des neutrinos

Ou comment étudier la masse d'objets insaisissables : l'exemple d'OPERA et de T2K

■ Mesure de leur vitesse de propagation

Un résultat surprenant et inattendu

■ Conclusions

Quelques repères historiques

1930 → Introduction d'une particule neutre, légère par **PAULI** (désintégration β)

1933 → Théorie de l'interaction faible, introduction du terme « neutrino » par **FERMI**

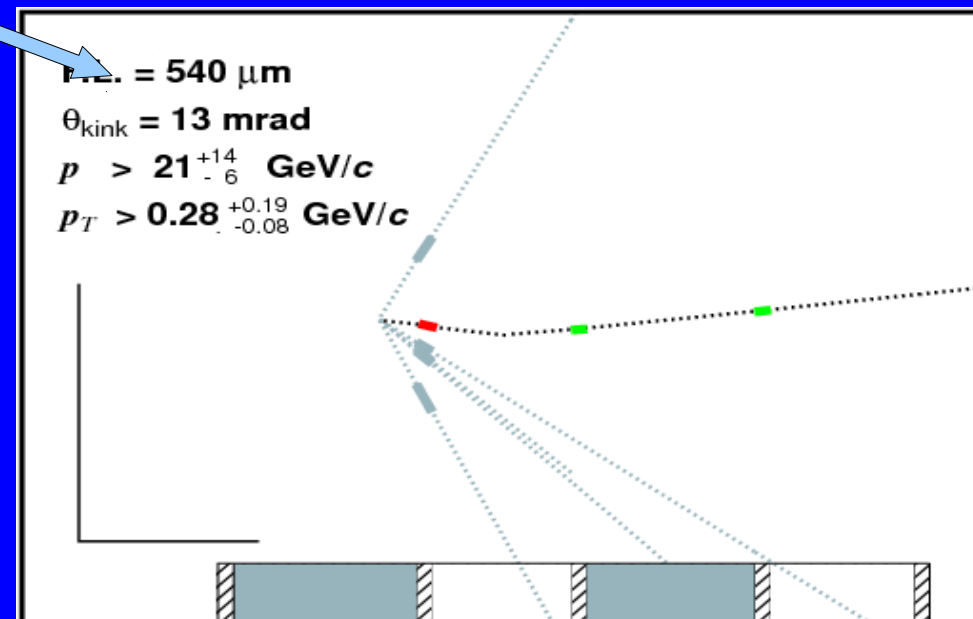
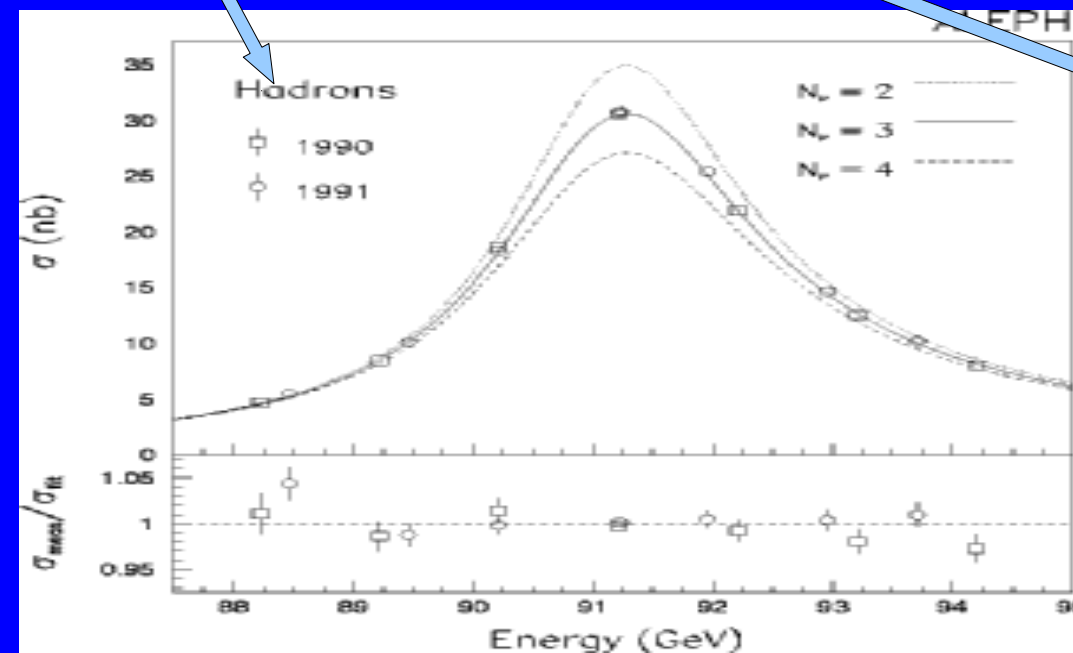
1956 → Première observation du neutrino électronique par **Reines et Cowan**

1962 → Première observation du neutrino muonique

1989 → **LEP** : seulement 3 familles de neutrinos légers

1998 → **SK** : les neutrinos oscillent et ont une masse

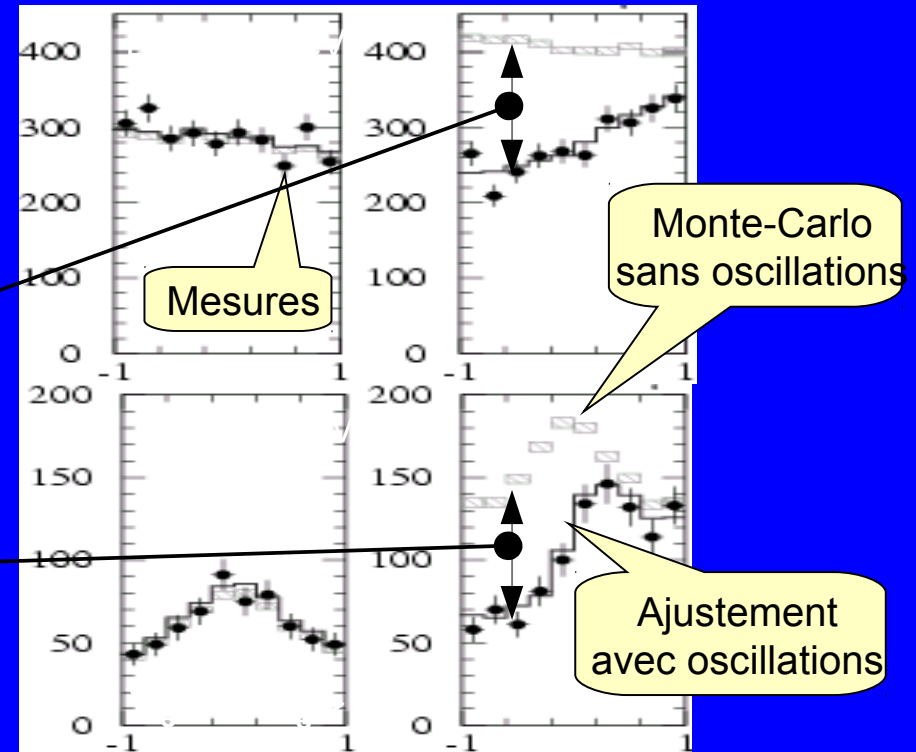
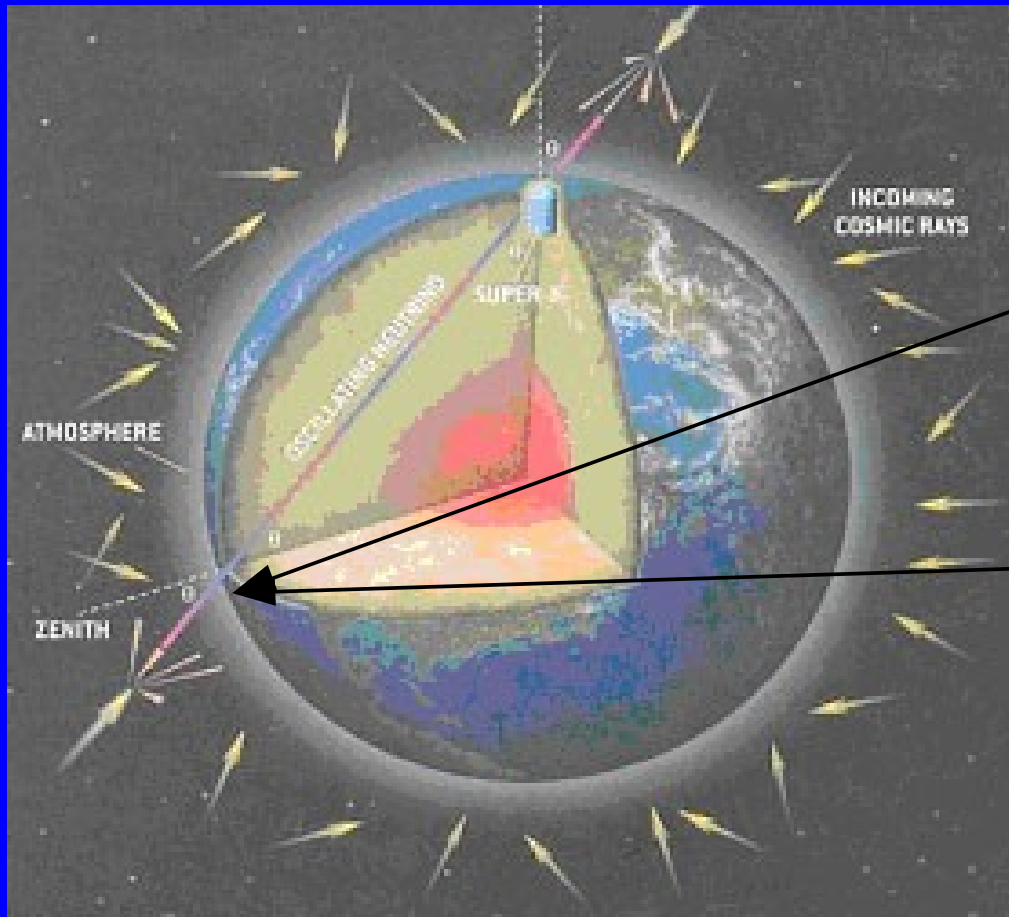
2000 → **DONUT** : première observation directe du neutrino τ



Le problème de la masse des neutrinos.

Les neutrinos du MS sont :

- Non-massifs
- Gauches (violation des symétries C , P et même CP)
- Distincts de leur anti-particule ($\nu \neq \bar{\nu}$)
- ... mais de nombreuses "anomalies" apparaissent dans l'étude des neutrinos d'origine naturelle (atmosphériques & solaires)



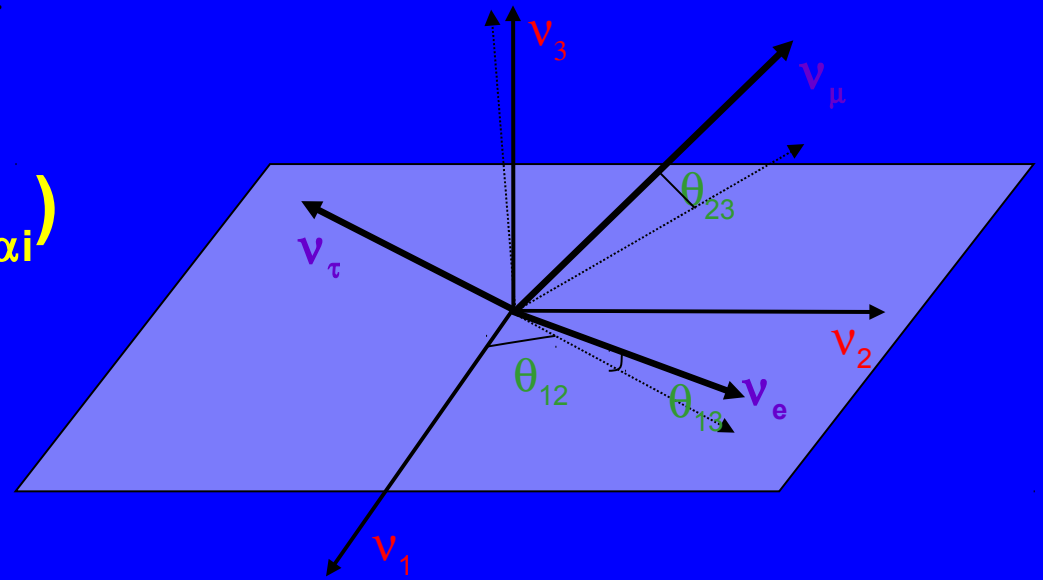
Une idée fait son chemin : l'oscillation des neutrinos : $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$?

Les oscillations de neutrinos, un peu de formalisme

- Principe : les états d'interaction (saveur) ne sont pas les états de propagation (masse)
- On introduit une matrice de changement de base
- Les paramètres de cette matrice doivent être déterminés expérimentalement

$$\text{états propres de saveur } \nu_{e,\mu,\tau} \leftarrow \nu_{\alpha} = \sum_i U_{\alpha i} \nu_i \rightarrow \text{états propres de masse}$$

$$P(\nu_{\alpha} \rightarrow \nu_{\beta}) = |\langle \nu_{\alpha} | \nu_{\beta} \rangle|^2 = F(U_{\alpha i})$$



$$U = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13}e^{-i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13}e^{i\delta} & 0 & c_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

ν atmosphériques
+ OPERA

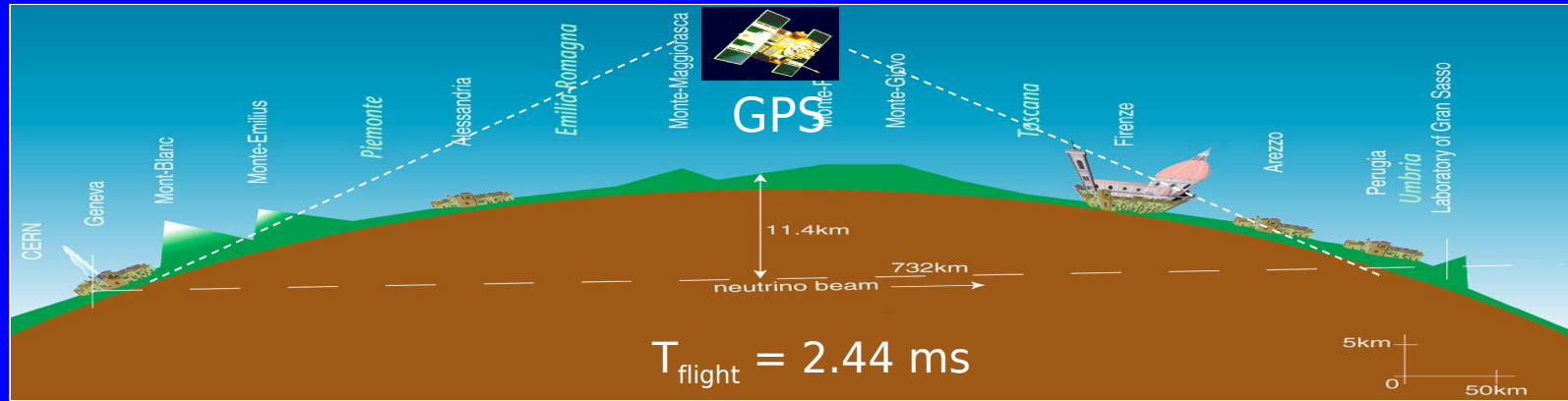
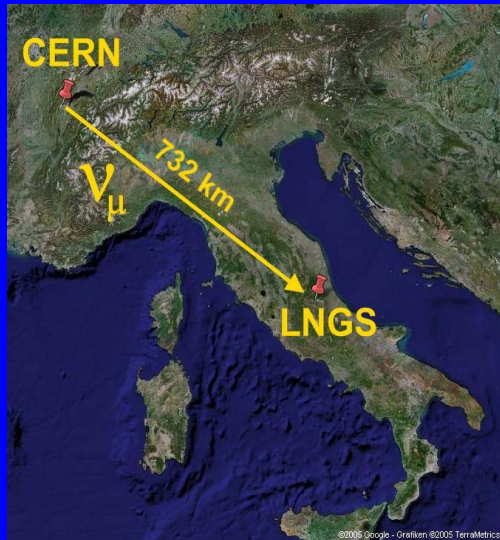
Réacteurs
+ T2K

ν solaires

Paramétrisation :

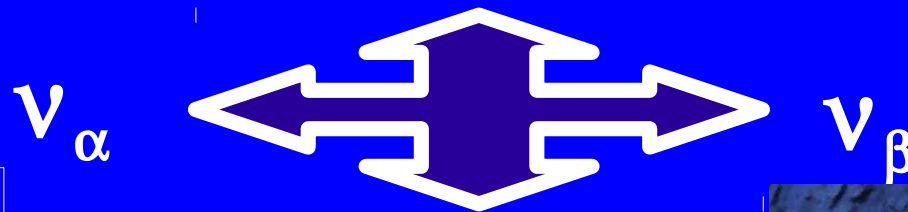
- 3 angles de mélange (θ_{ij})
- 3 différences de masse (Δm_{ij}^2)
- 1 phase de violation de CP (δ)

Deux expériences d'oscillations de neutrinos : OPERA/T2K



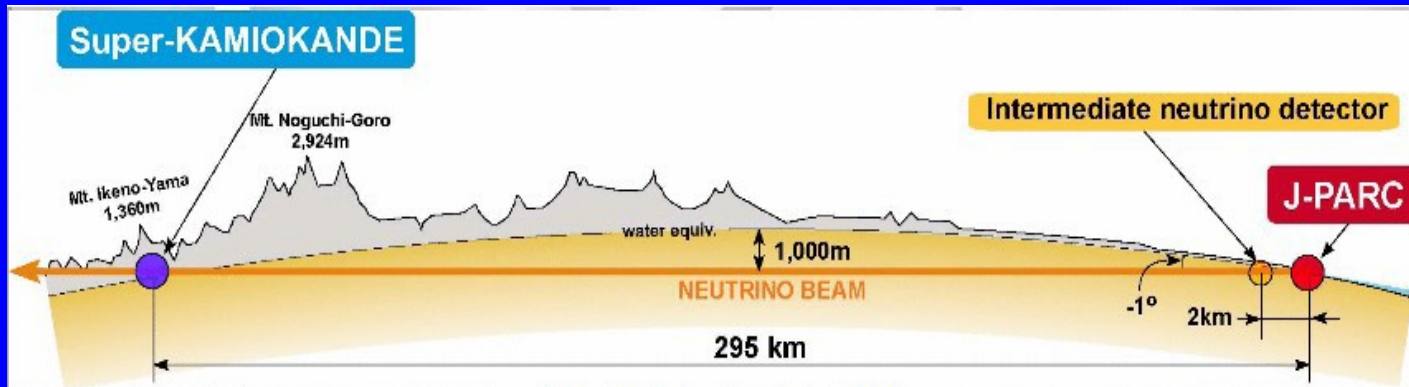
OPERA

Faisceau contrôlé
L fixée
E ajustable
→ L/E optimisé



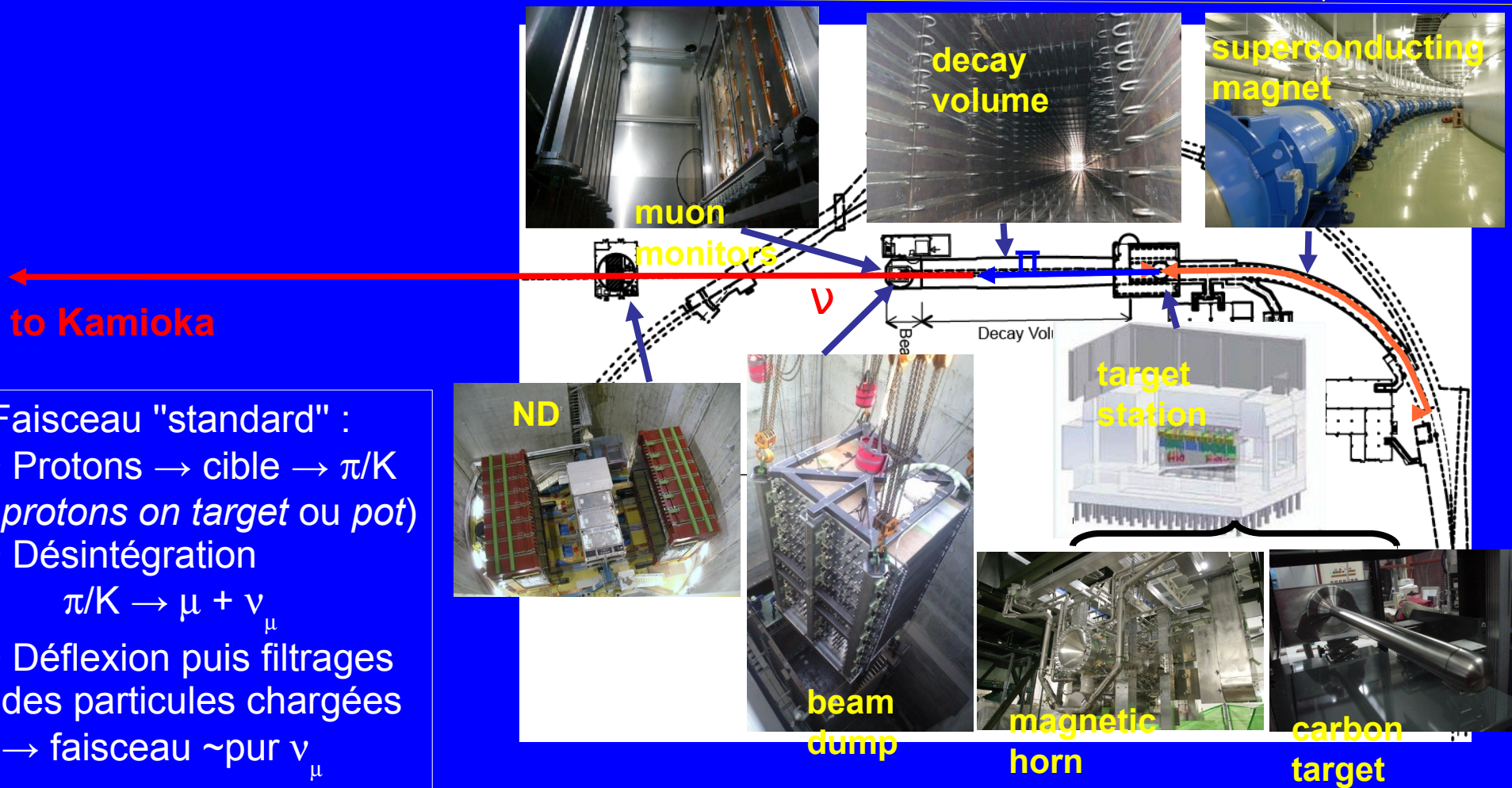
T2K

Détecteur lointain massif
Marquage en temps des evts
→ Synchronisation GPS



T2K : Tokai to Kamioka (2010)

- Expérience de 2^{nde} génération (mesure fine des paramètres d'oscillation)
- Collaboration internationale : 12 pays, 58 instituts, ~500 collaborateurs
- Principe de la mesure : comparaison des flux mesurés entre deux détecteurs (détecteur proche, ND, à 280m du faisceau / détecteur lointain, FD, à 295km)
 - mesure d'une **disparition** éventuelle de la saveur initiale (ν_μ) liée à $P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu)$
 - mesure d'une possible **apparition** d'une autre saveur (ν_e) liée à $P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e)$



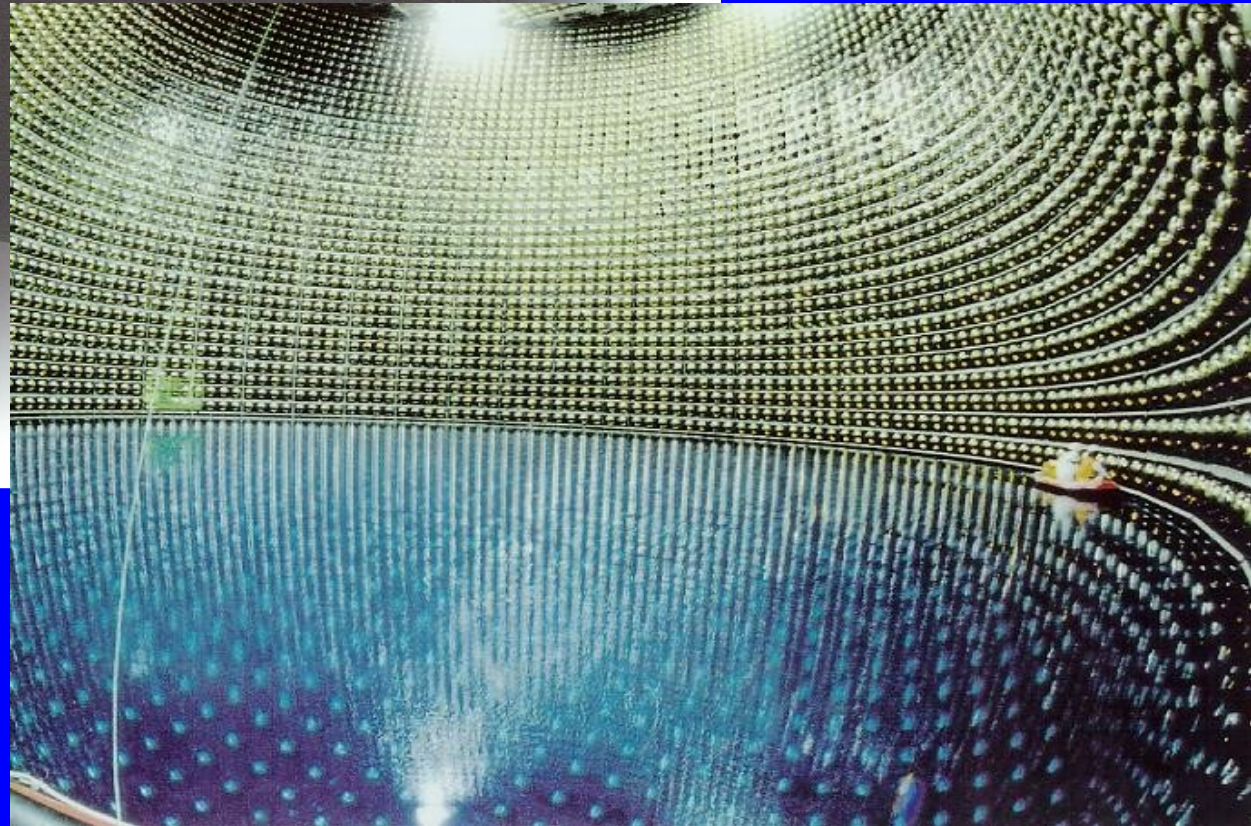
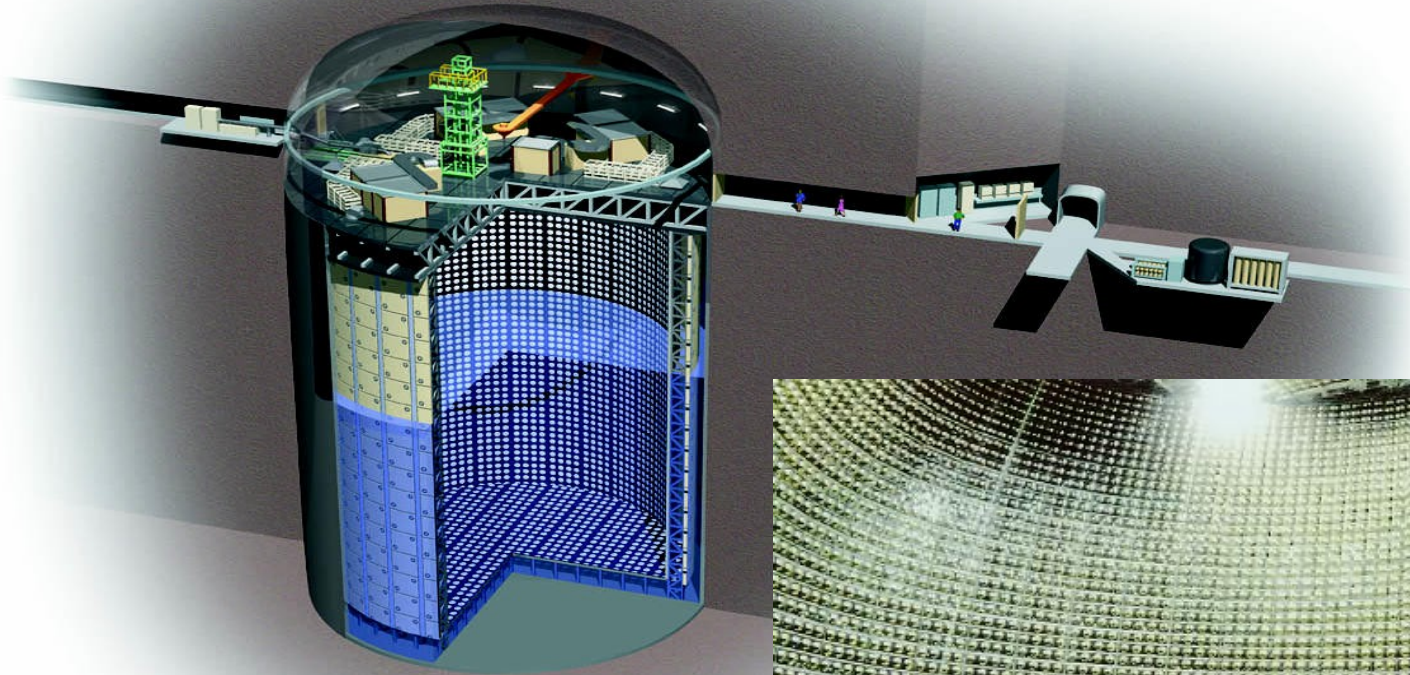
Faisceau "standard" :

- Protons \rightarrow cible \rightarrow π/K (*protons on target* ou *pot*)
- Désintégration

$$\pi/K \rightarrow \mu + \nu_\mu$$
- Déflexion puis filtrages des particules chargées
 \rightarrow faisceau \sim pur ν_μ

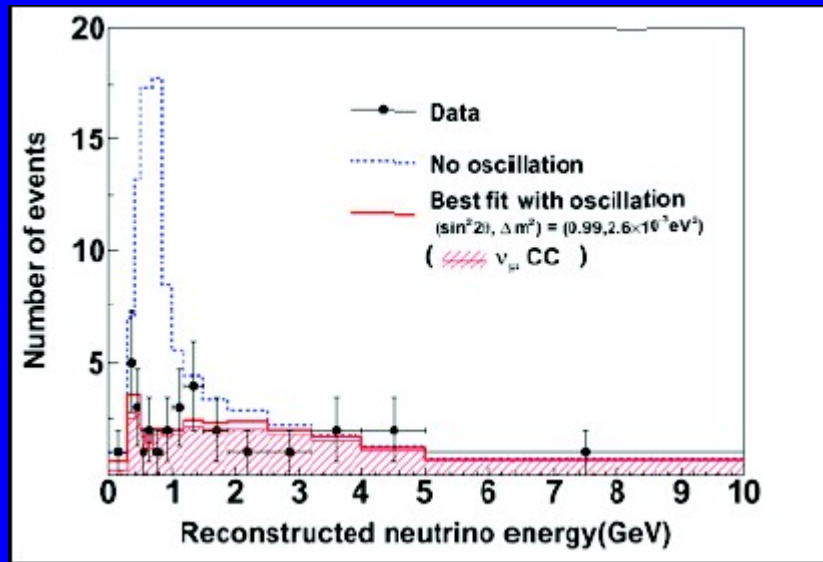
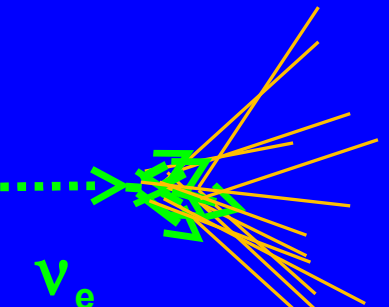
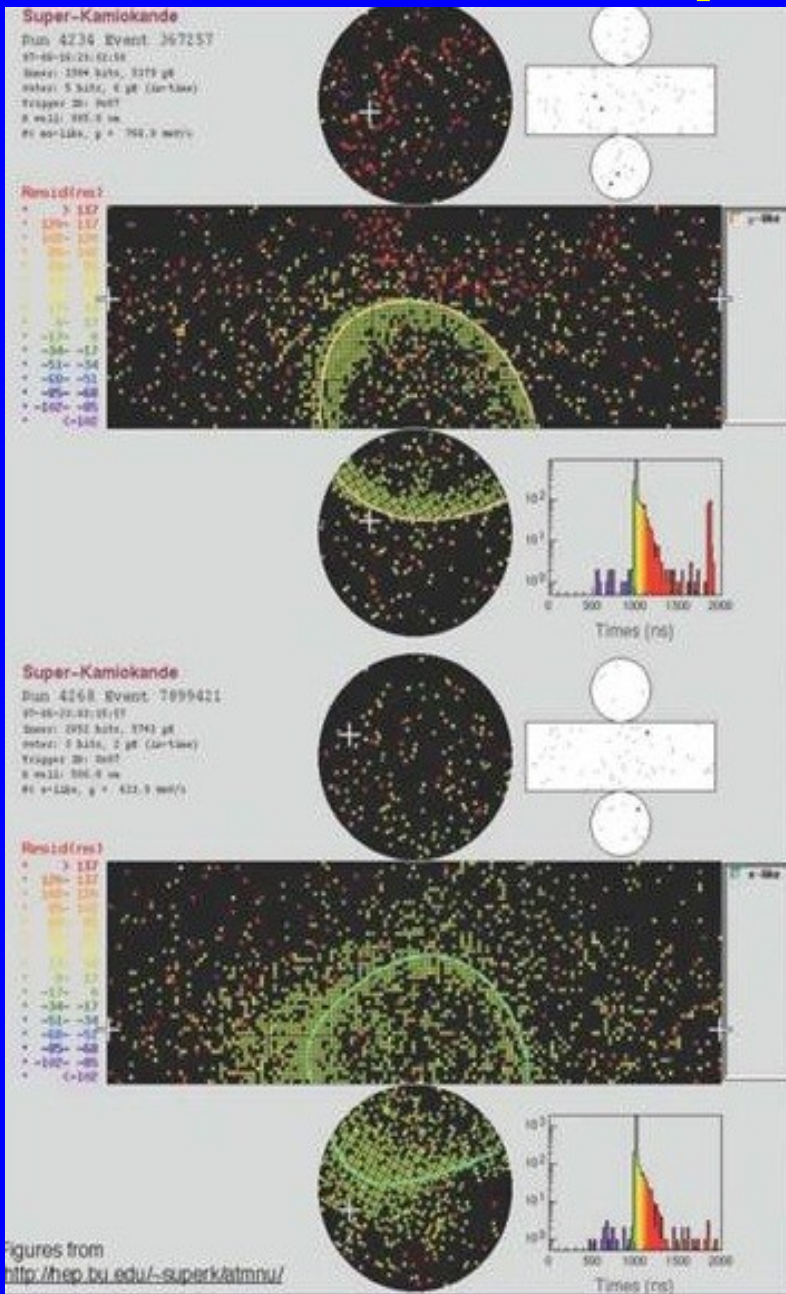
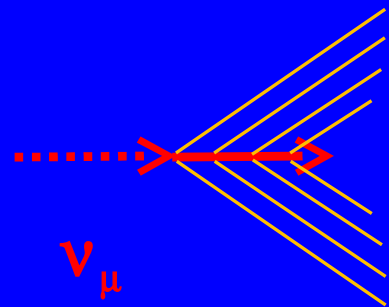
T2K : détecteur lointain Super-Kamiokande

Un colosse ...
50 ktonne d'eau pure
11129 PM (Ø 50cm)
1000m sous terre

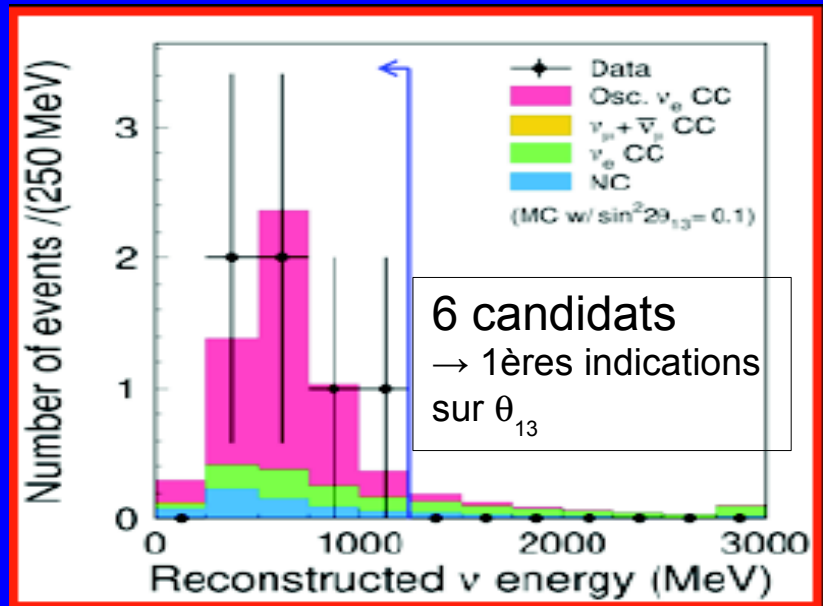


Détecteur **Cerenkov** :
quand une particule
se propage à $v > c/n$
on observe une onde
de choc lumineuse

T2K : résultats récents avec Super-Kamiokande



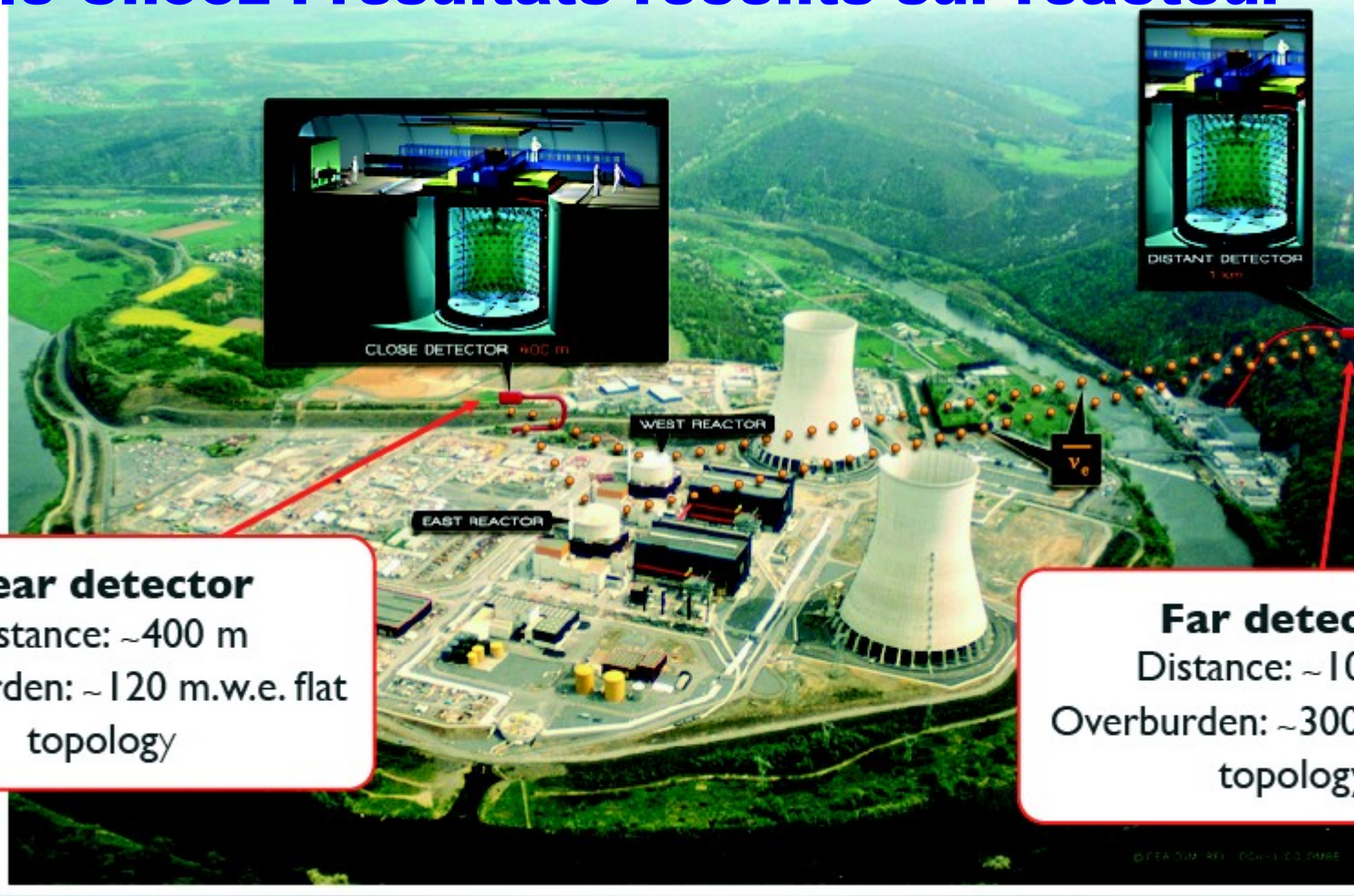
↑ Analyse de la disparition des ν_μ
 ↓ Analyse de l'apparition des ν_e



6 candidats
 → 1ères indications sur θ_{13}

Efficacité de distinguer e/ μ >99%

Double-Chooz : résultats récents sur réacteur



Near detector

Distance: ~400 m

Overburden: ~120 m.w.e. flat topology

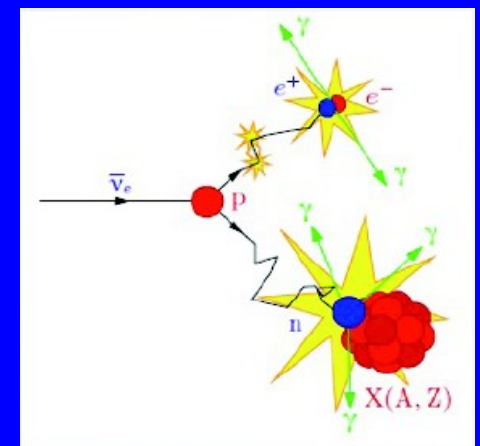
Far detector

Distance: ~1050 m

Overburden: ~300 m.w.e. hill topology

Méthode de détection : $\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$

- photons prompts de l'annihilation du positron
 - photons 'retardés' de la capture neutron sur Gd
- ⇒ corrélation spatio-temporelle

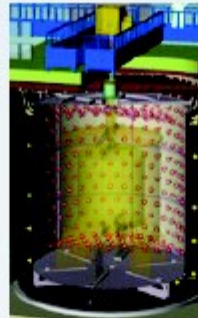


Double-Chooz : résultats récents sur réacteur



Chooz Nuclear Power Station
2 cores of 4.27 GW_{th} each

$\bar{\nu}_e$
Total flux

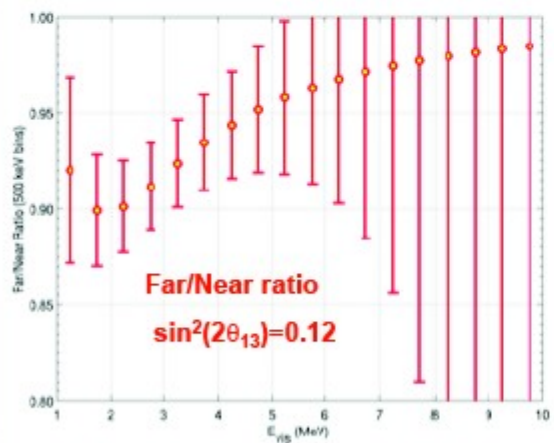


Near detector
400 m

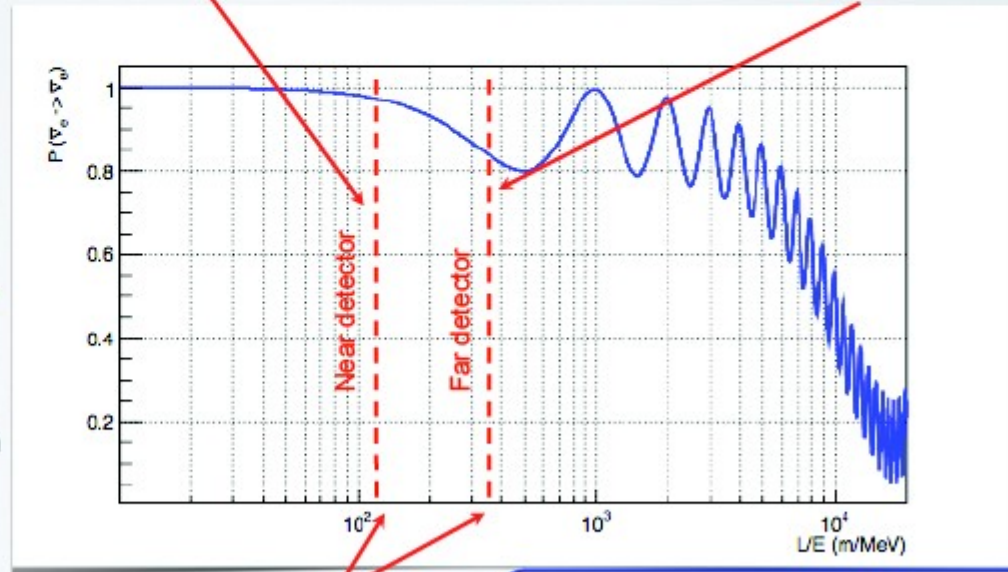
$\bar{\nu}_{e,\mu,\tau}$
Oscillated flux



Far detector
1050 m



Prompt energy spectra comparison

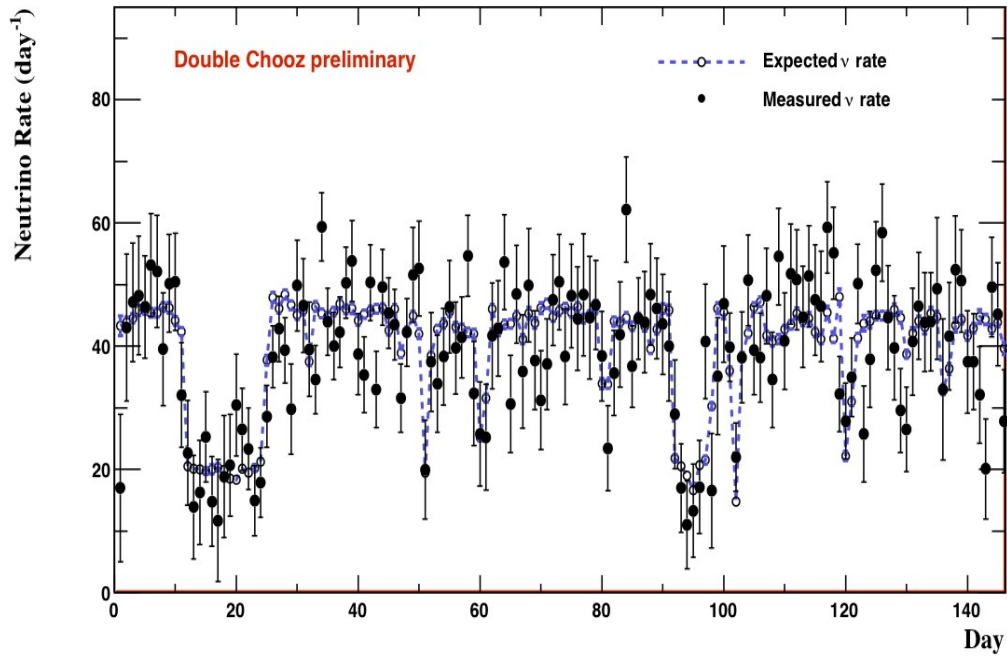


For $\langle E \rangle = 3$ MeV

$\Delta m^2_{12} = 7 \times 10^{-5} \text{ eV}^2$	$\sin^2(2\theta_{13}) = 0.2$
$\Delta m^2_{23} = 2.5 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$	$\cos^2(\theta_{12}) = 0.7$

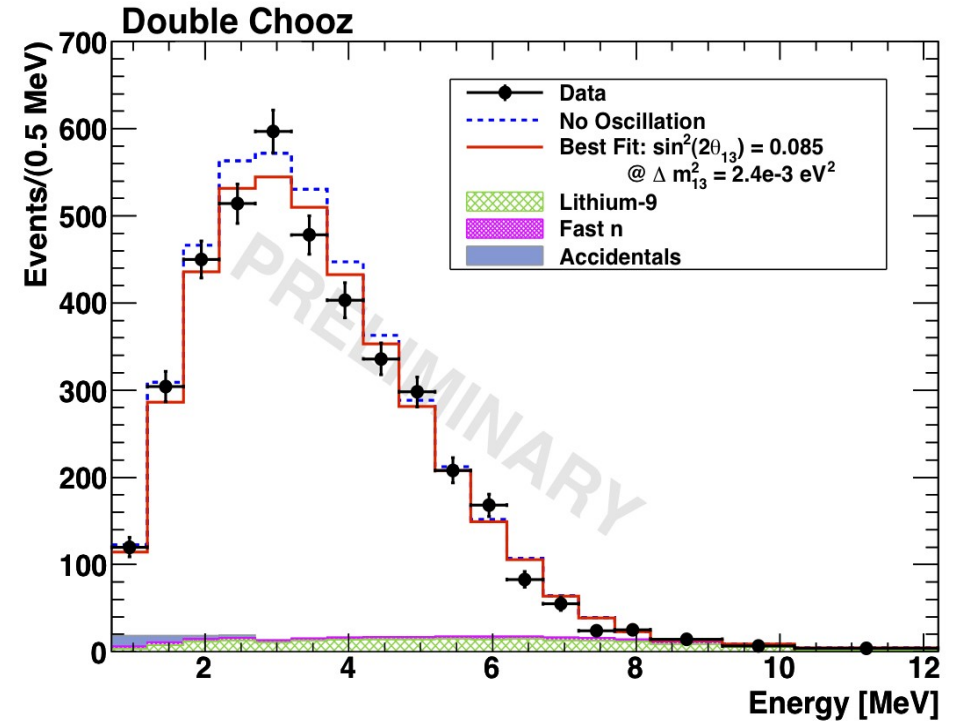
Double-Chooz : résultats récents sur réacteur

Neutrino candidates rate



↓ Analyse de la disparition des $\bar{\nu}_e$
 Rate + Shape Analysis:
 $\sin^2(2\theta_{13}) = 0.085 \pm 0.029(\text{stat}) \pm 0.042(\text{syst})$

↑ Taux journaliers de $\bar{\nu}_e$ détectés
 $\sim 42.6 \bar{\nu}_e \cdot \text{j}^{-1}$

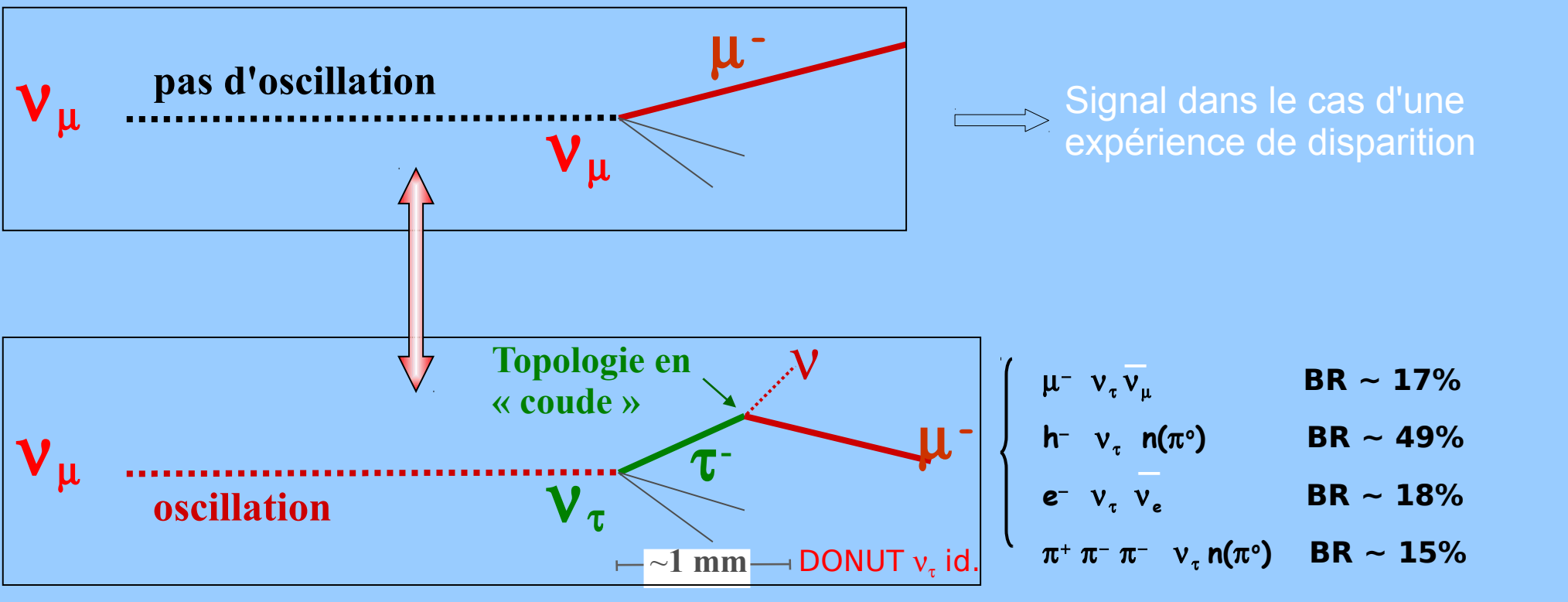


OPERA et le CNGS

- Expérience d'apparition optimisée pour l'observation de l'oscillation $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$
- Quel domaine d'oscillation ? Les neutrinos atmosphériques : $\Delta m_{23}^2, \theta_{23}$

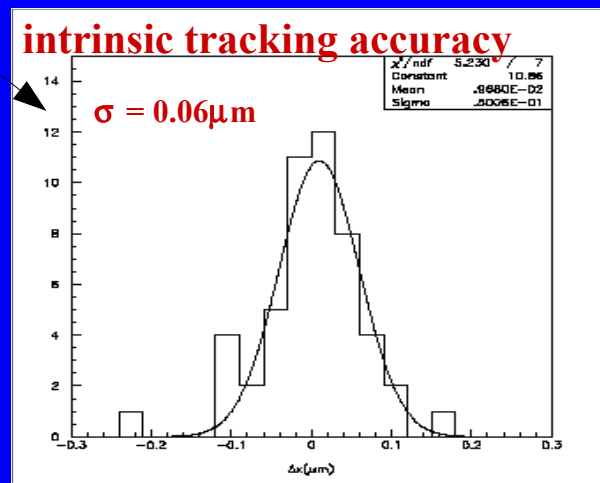
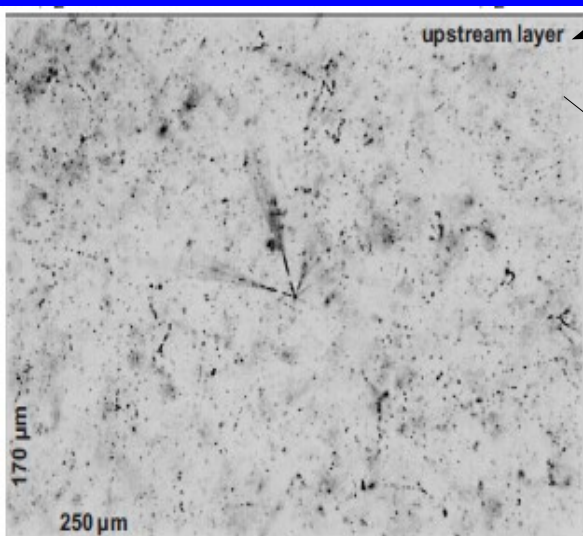
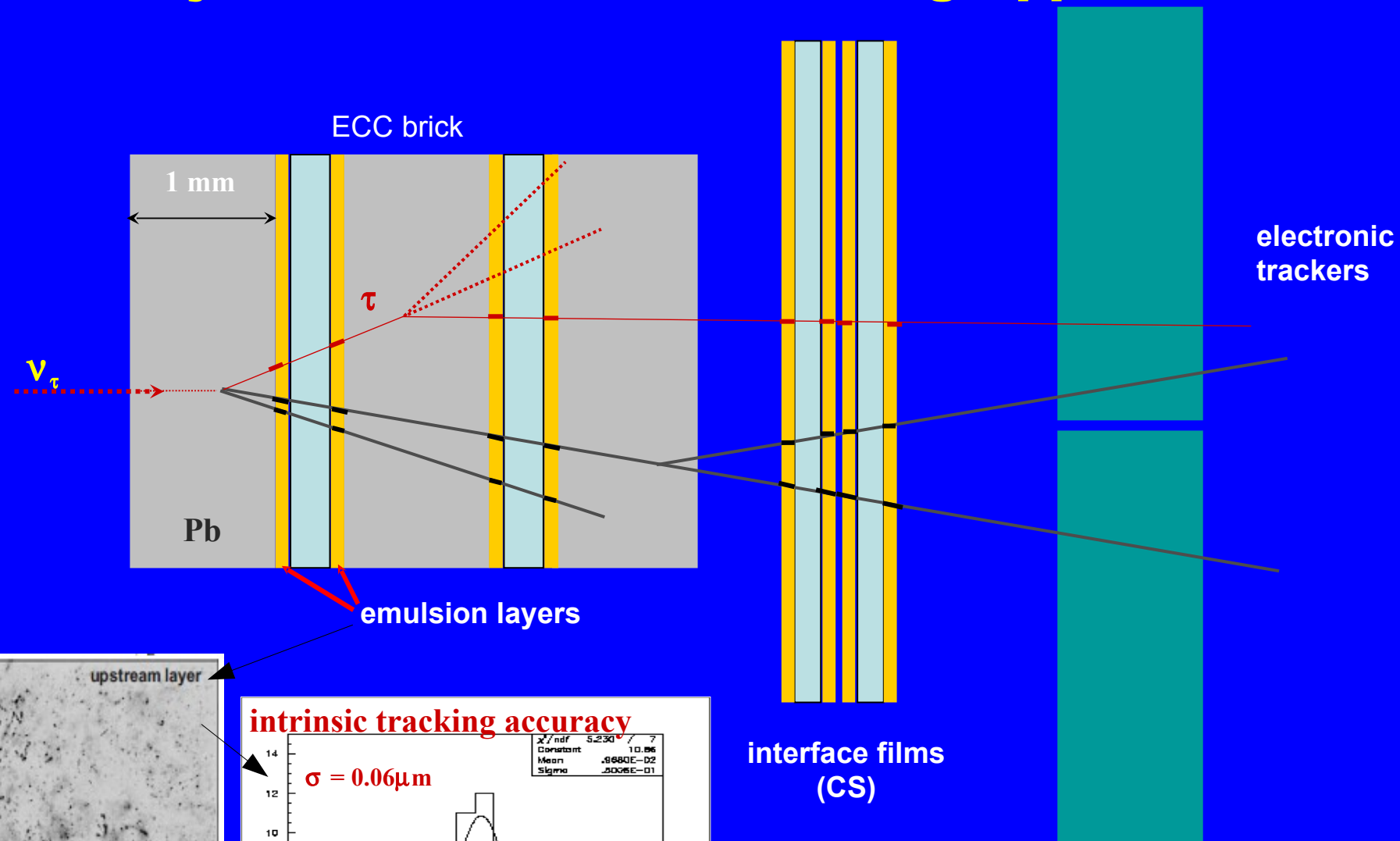
$$U = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13}e^{-i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13}e^{i\delta} & 0 & c_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

- Expérience optimisée pour la détection des interactions CC de ν_τ



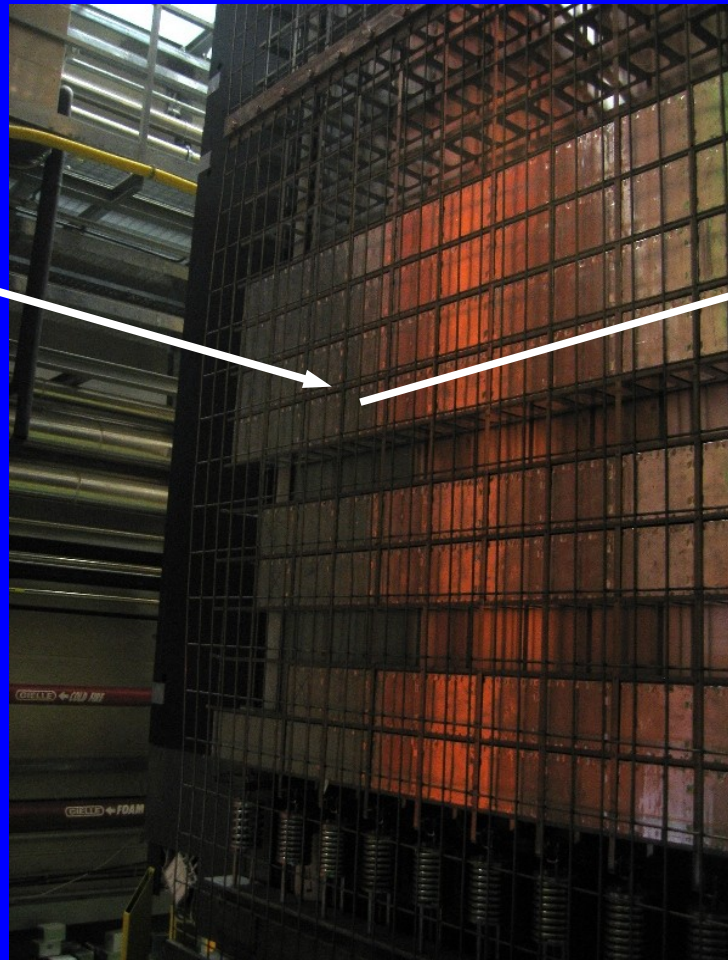
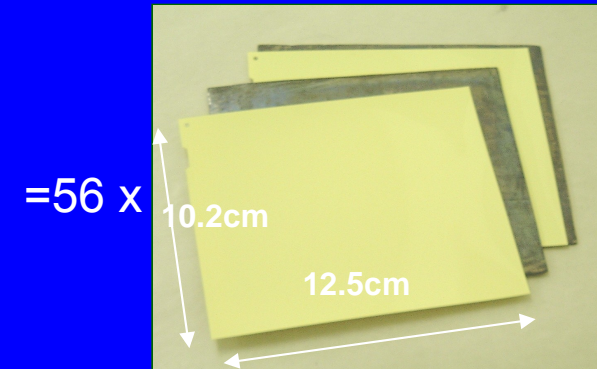
Le défi : comment résoudre 1mm3 dans un détecteur très massif & volumineux ?

Une technologie de détection "hybride" : Oscillation Project with Emulsion tRacking Apparatus



Fontionnement d'OPERA

- Emulsions : détecteur passif (nécessite un système de déclenchement externe)
- Détecteurs électroniques (trajectographe + spectromètre à muons) pour :
 - Identifier l'occurrence d'un événement neutrino, le marquer en temps
 - Identifier le volume d'interaction ($\sim 1-1000 \text{ cm}^3$)
 - Identifier les particules chargées de l'état final (pions, muons, électrons)
 - Mesurer les caractéristiques de ces particules (charge, impulsion, énergie)
→ le volume identifié (brique) est extrait du détecteur pour analyse au μ -scope



OPERA en cours de montage



OPERA assemblé



8.3 kg

SM1

SM2

Feuilles
d'émulsion

Pb

τ

Event: 230223655, 18 Sep 2008, 07:50

VETO

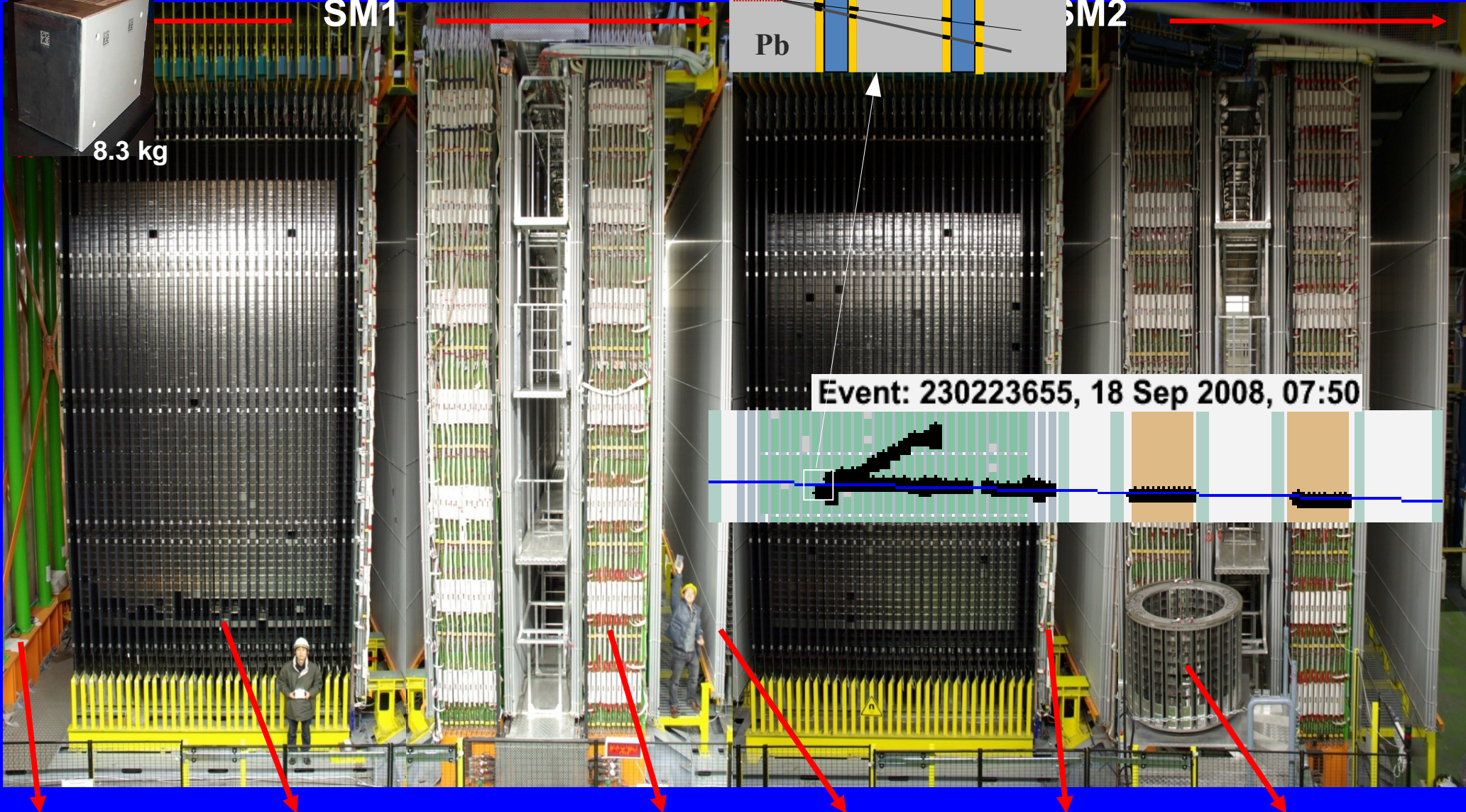
Cible
(briques + Trajectographe)

Aimant+RPCs

PT

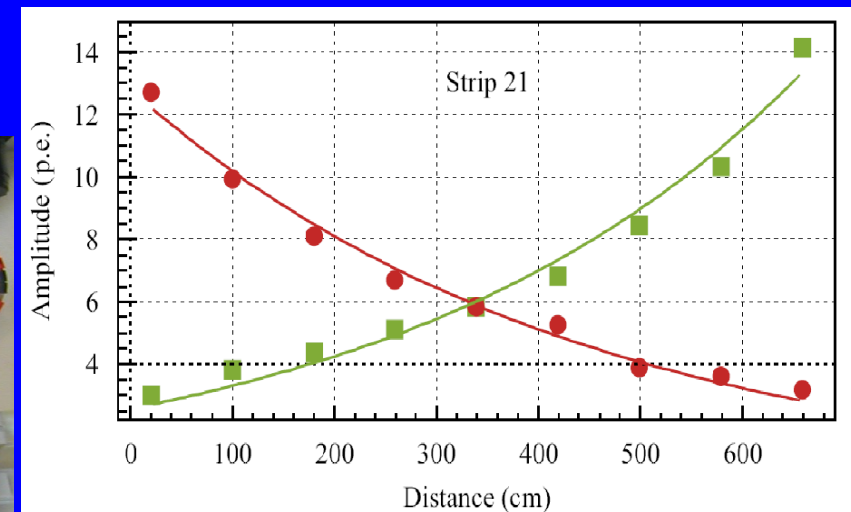
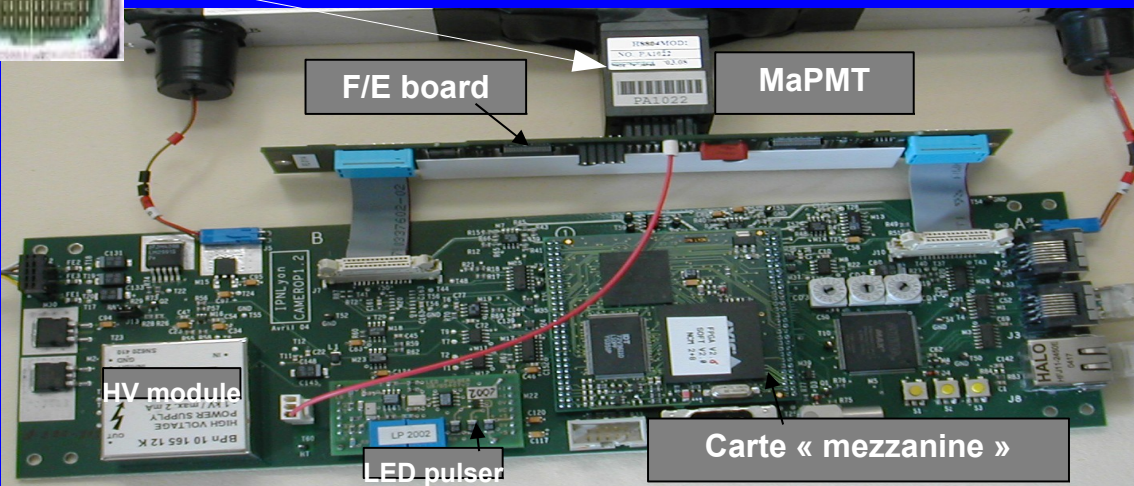
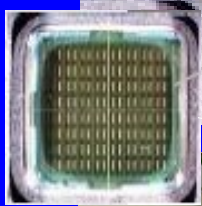
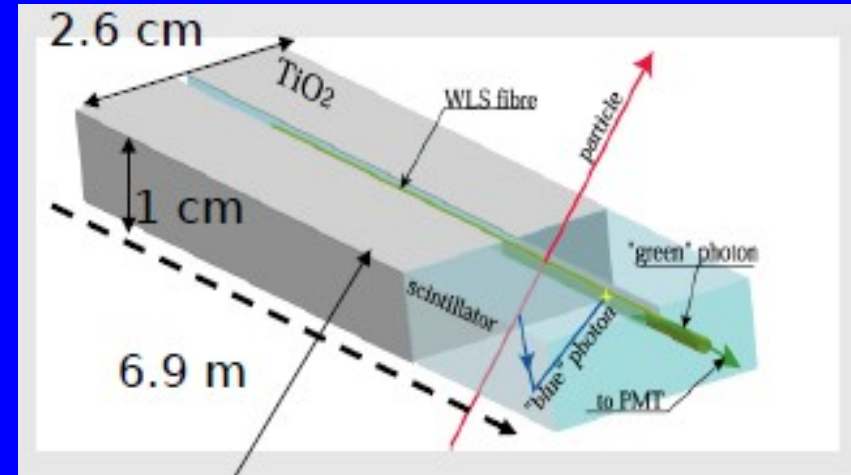
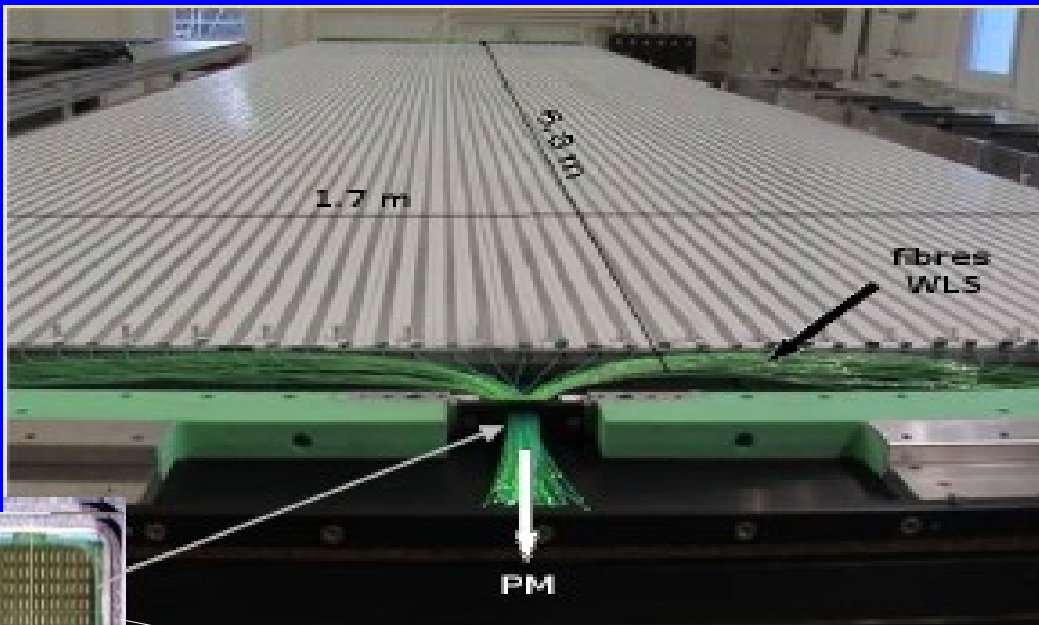
PT+XPC

BMS

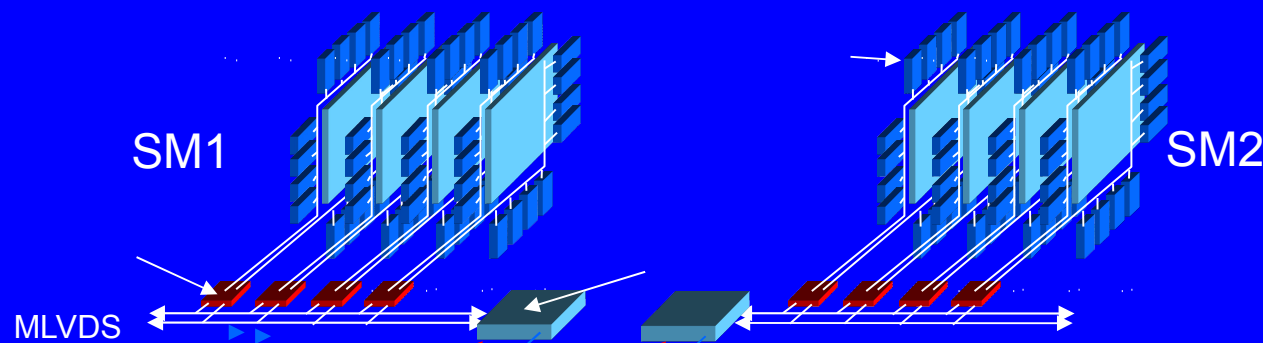


Le trajectographe

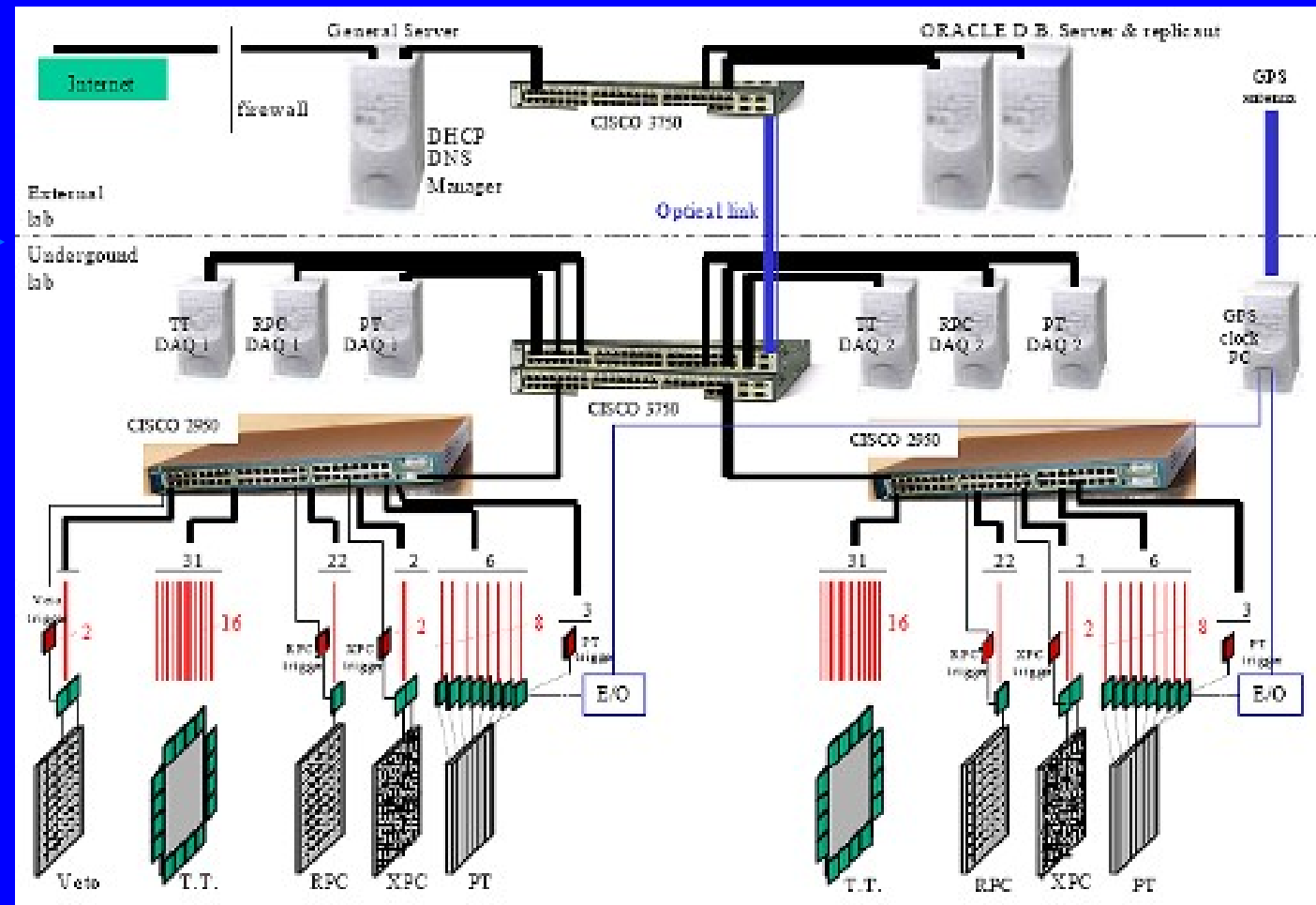
- Détecteur à scintillation (barres polystyrène + dopants)
- Fibres à décalage de λ (adaptation optimale des spectres émission/détection)
- Photomultiplicateurs pixelisés (64 voies)
- Electronique "front-end" de lecture auto-déclenchée
- Système d'acquisition autonome sur Ethernet



Architectures distribuées : horloges / données



(receives the GPS signal from the Outside antenna through a 8km optical fiber)



COMMISSIONE LAVORI PUBBLICI DEL SENATO

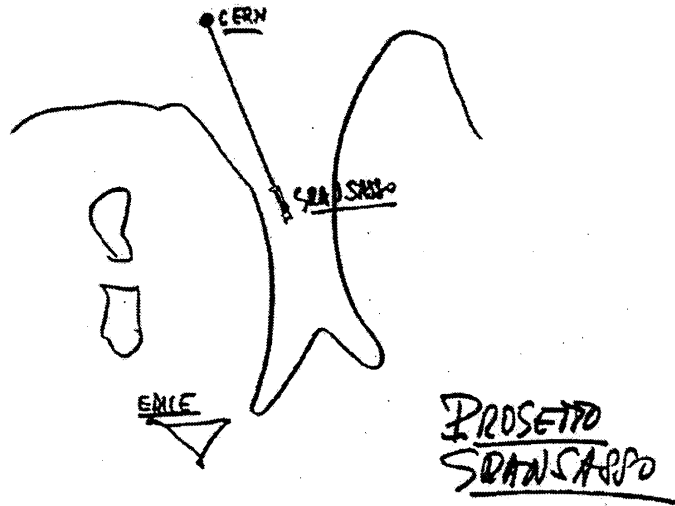
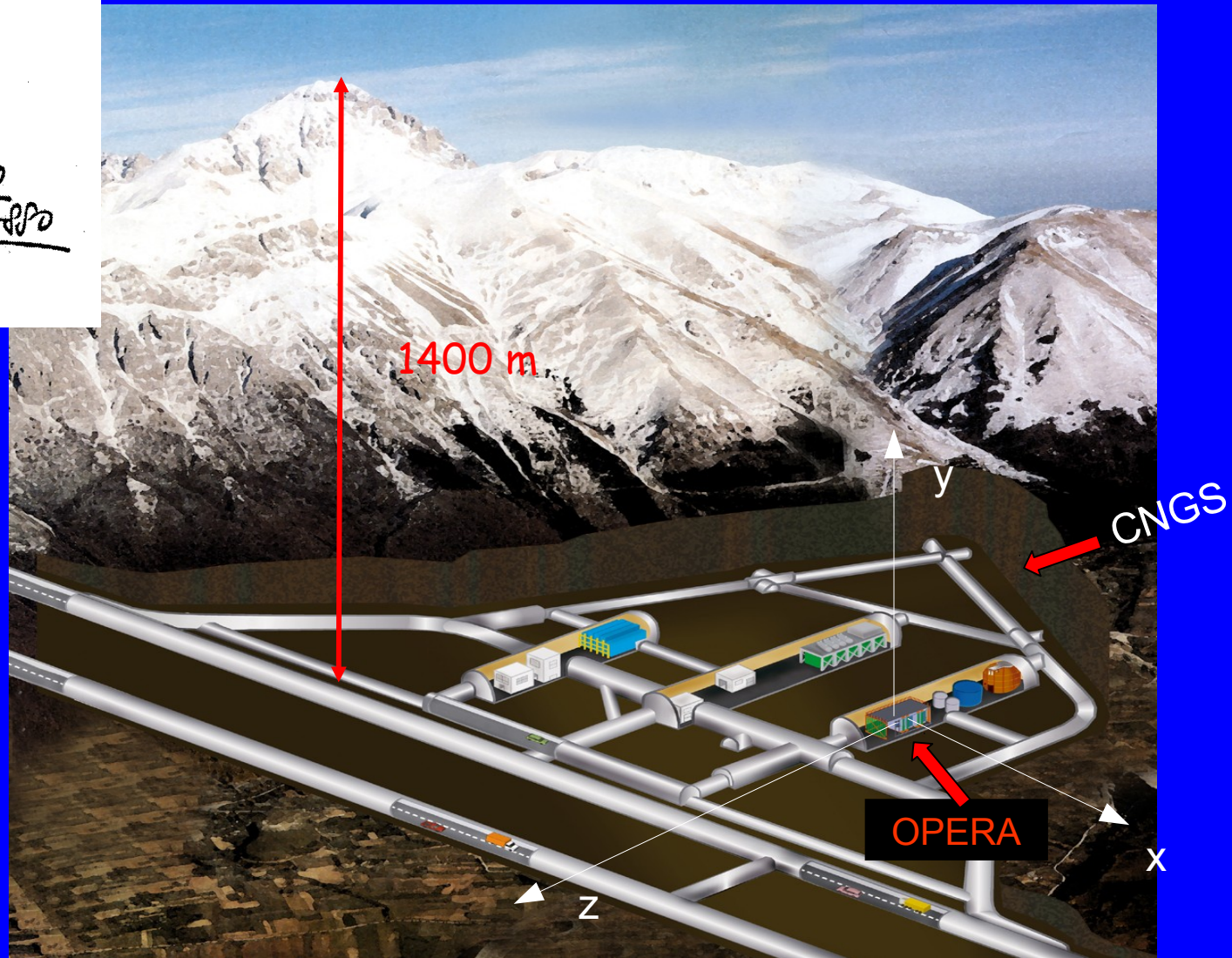


Figure 1.1.1: Sketch by A. Zichichi, 1979

Le laboratoire souterrain du Gran Sasso

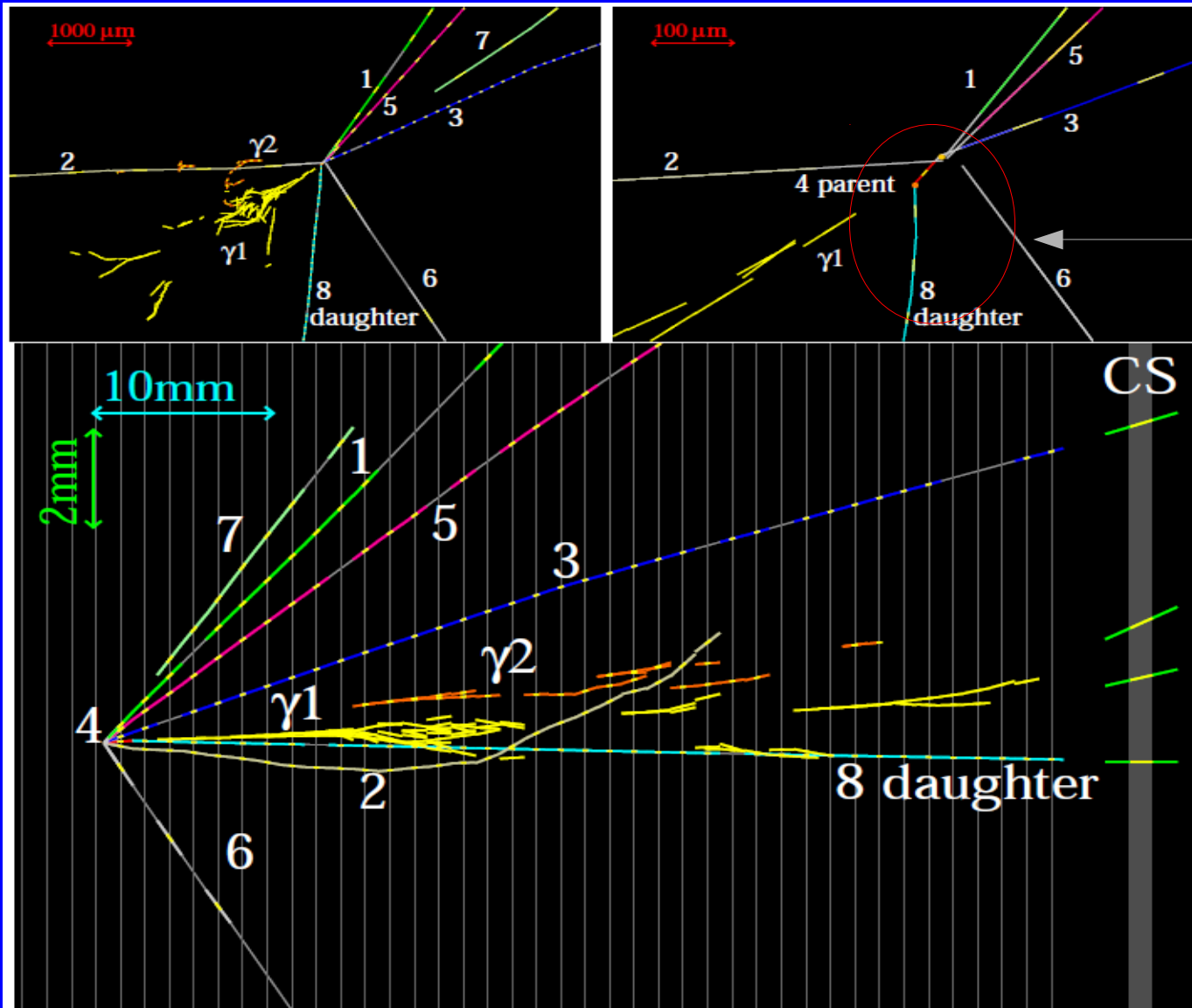
(le plus grand du monde)



CNGS ? CERN Neutrino to Gran Sasso : le faisceau

Observation du premier candidat ν_τ

- Historique du projet : proposal 2000, construction 2003-2006, 1^{er} run physique 2008
- Statistique faisceau : 2008-2009 $\rightarrow 5 \cdot 10^{19}$ pot, 2010 $\rightarrow 4.2 \cdot 10^{19}$ pot
- <http://lanl.arxiv.org/abs/1006.1623>



Topologie « en coude »

Première mondiale :
apparition directe d'un
produit des oscillations

Entre le CERN et le Gran Sasso, dès le début de l'expérience, est mise en oeuvre une

Mesure de ν neutrino

qui aboutit à un résultat inattendu et surprenant

Dario AUTIERO

IPNL

Présentation @ CERN

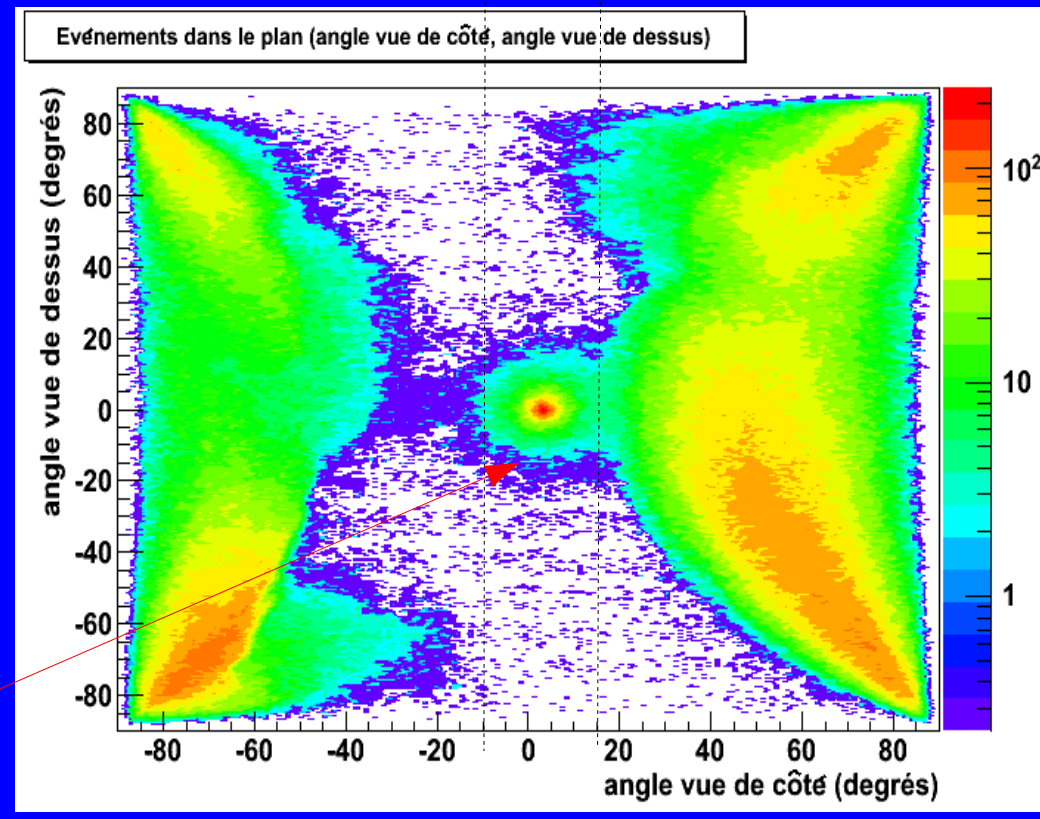
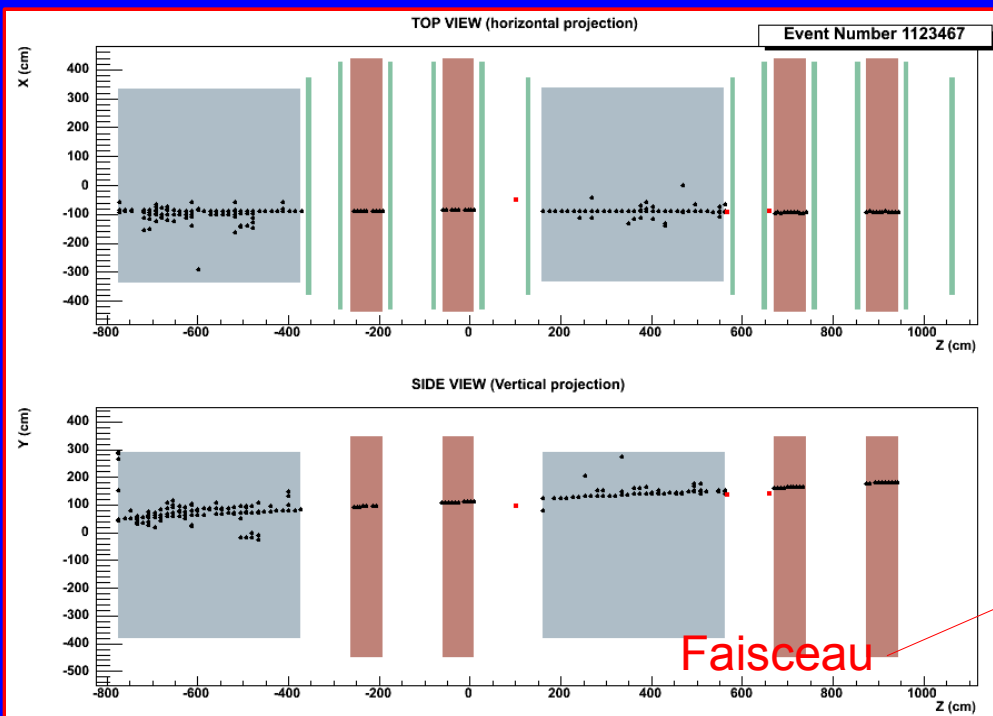
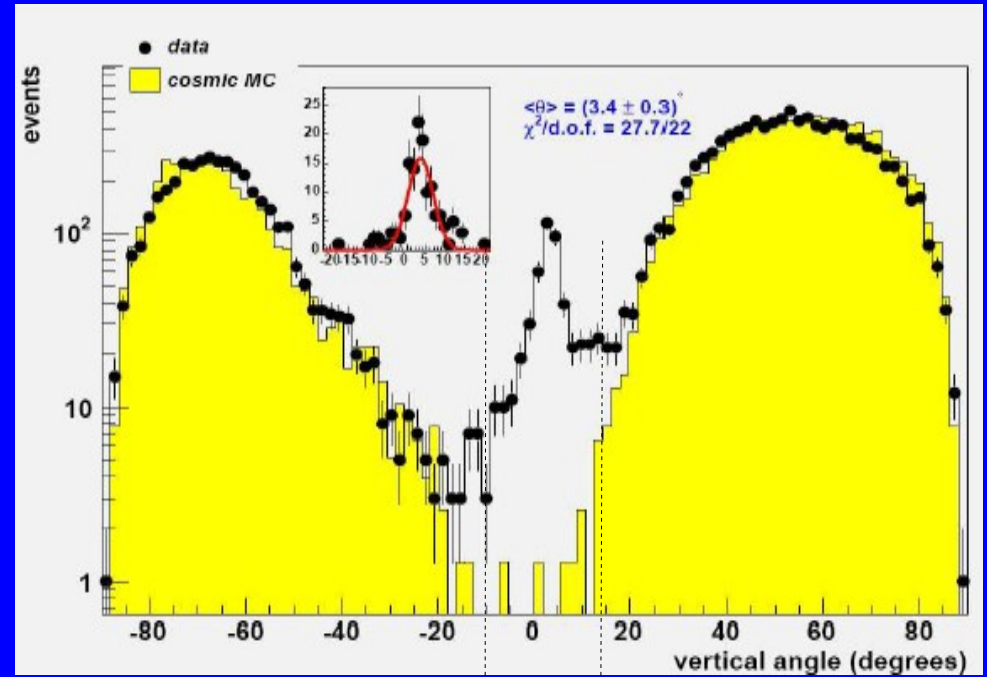
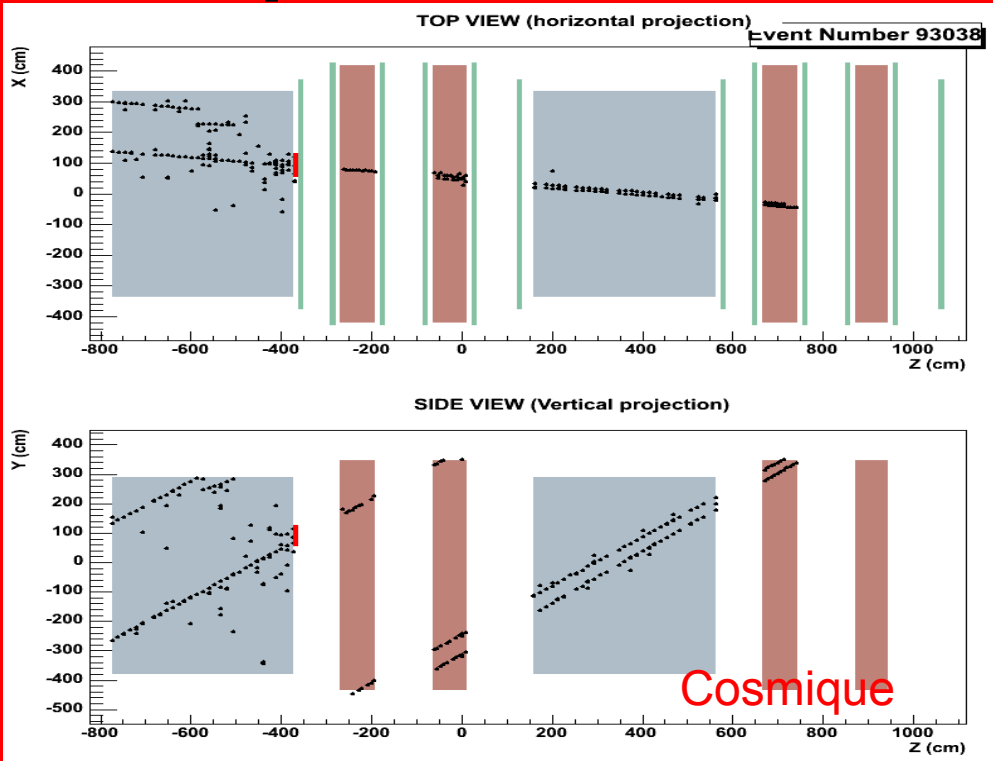
23/09/2011

<http://arxiv.org/abs/1109.4897>

Collaboration avec :

- Les groupes CNGS, Survey, Timing et PS du CERN
- Le groupe de géodésie de l'Università Sapienza de Rome
- Institut de Métrologie suisse (METAS)
- Institut de Métrologie allemand (PTB)

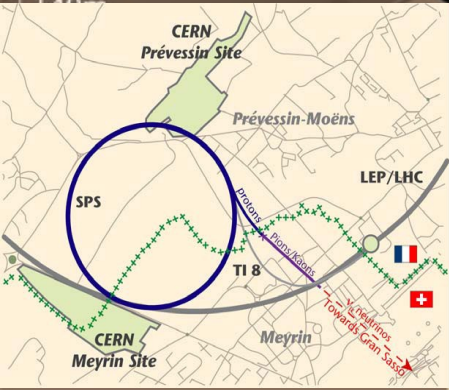
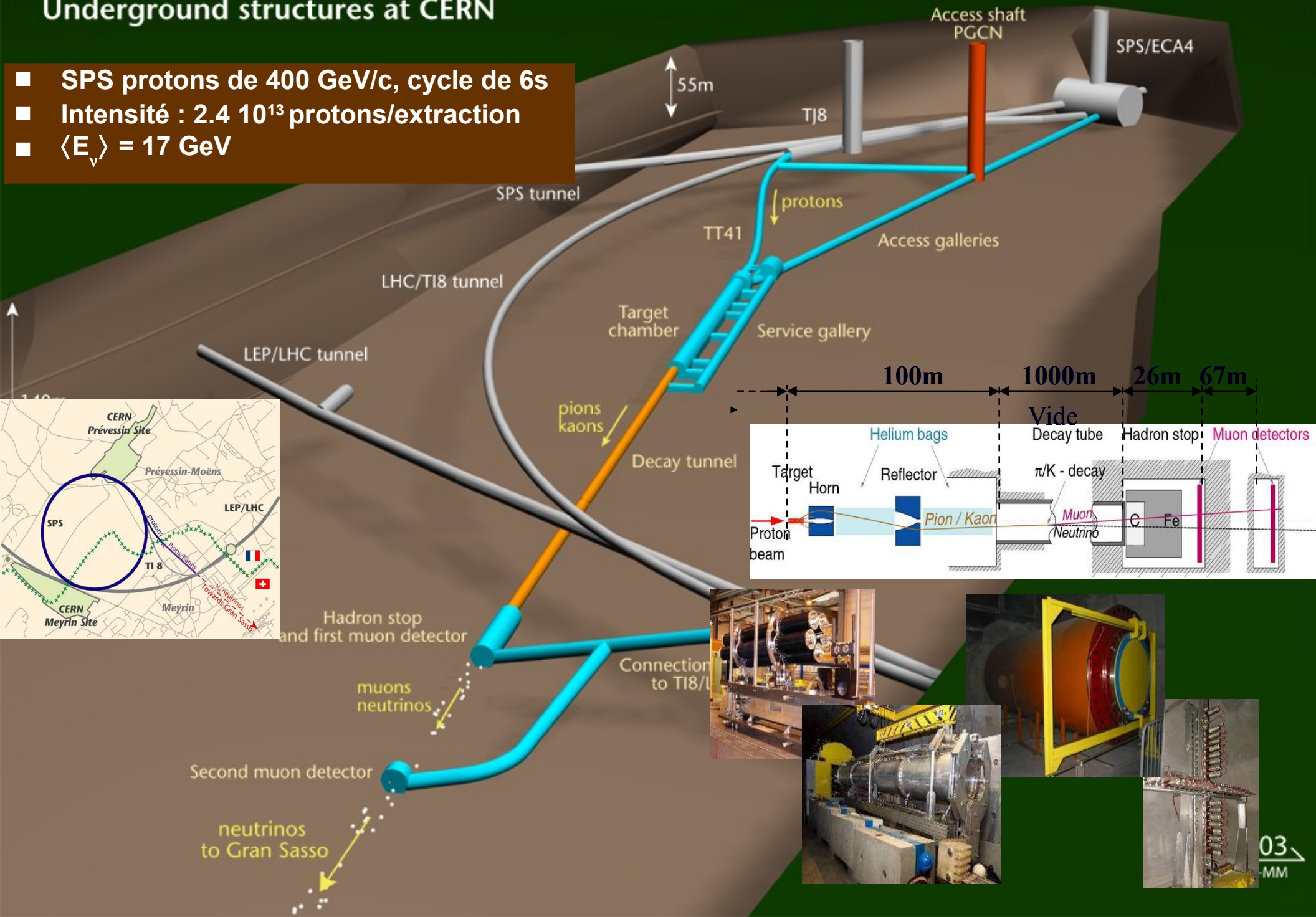
Cosmiques vs faisceau



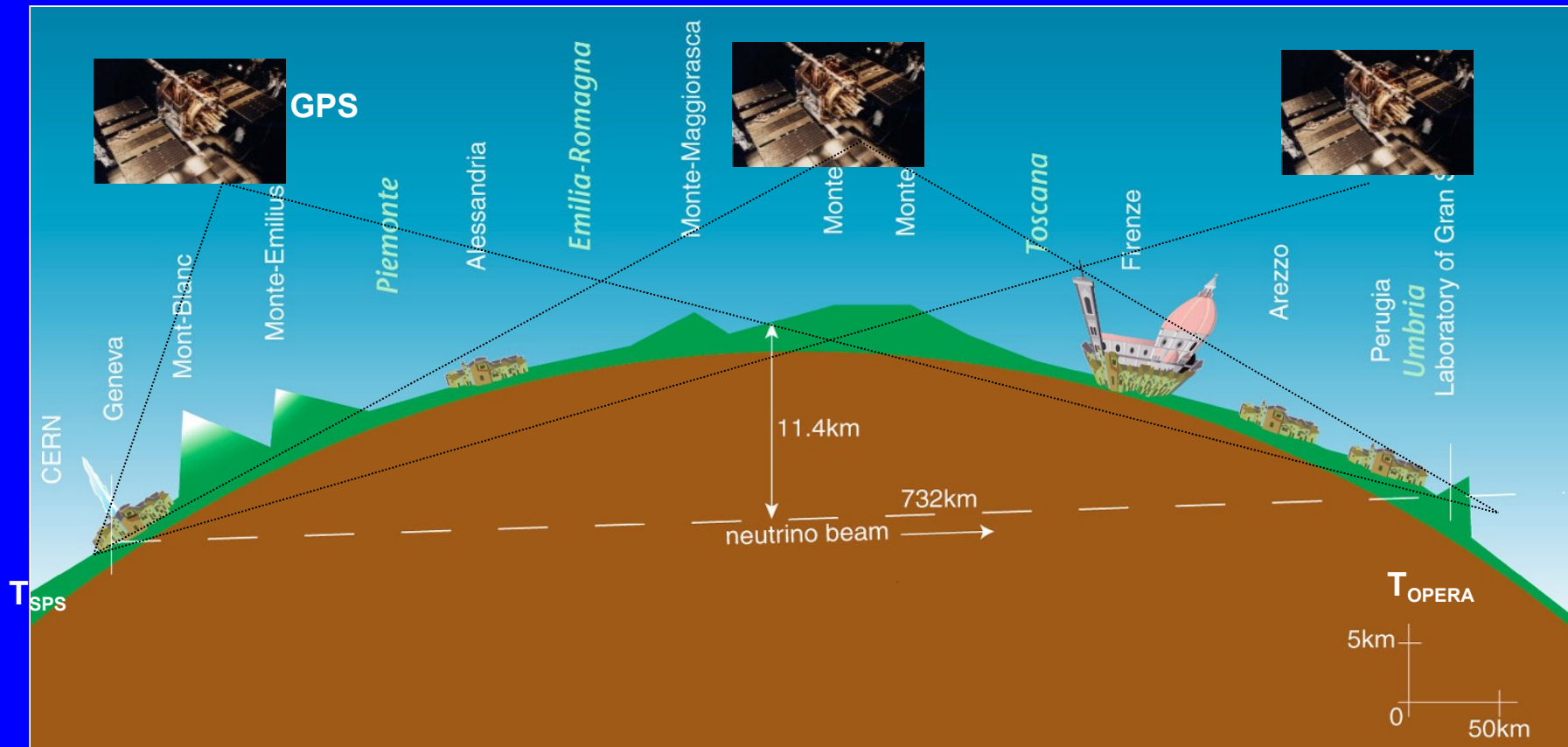
CERN NEUTRINOS TO GRAN SASSO

Underground structures at CERN

- SPS protons de 400 GeV/c, cycle de 6s
- Intensité : $2.4 \cdot 10^{13}$ protons/extraction
- $\langle E_\nu \rangle = 17$ GeV



Sélection des événements CNGS



- Recherche "off-line" de coïncidences temporelles entre les extractions de protons du SPS par le "kicker" et les événements d'OPERA

$$|T_{\text{OPERA}} - (T_{\text{Kicker}} + \text{TOFc})| < 20 \mu\text{s}$$

- Synchronisation avec GPS standard ~ 100 ns (inadéquate pour des mesures de précision)
- TOFc \equiv temps de vol de la particule à la vitesse de la lumière

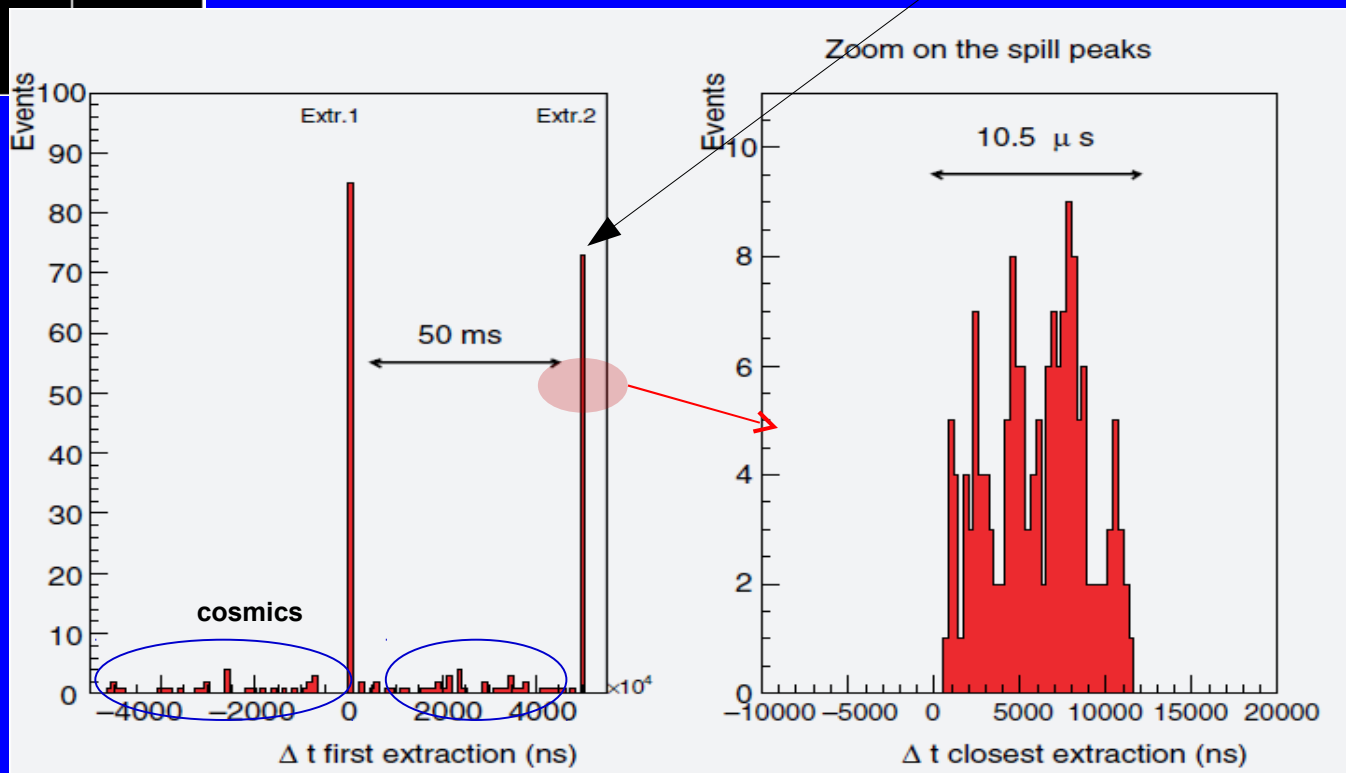
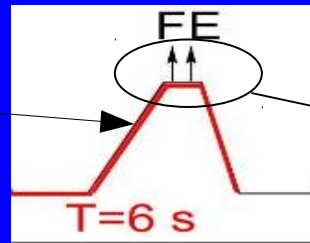
CNGS : structure temporelle

```

110 CERN SI 21-08-06 09:07:27
SPS-Protons updated: 21-08-06 09:06:52
User: SFTPRO1 400 GeV/c SC: 3696B
Flat top: 4800 ms SC length: xx.x s
RATE*E10:
2620 1221 2475 2330
TT2 INJ1 END-FB FLAT-TOP SSE
dumped 147 (8998 ms)
Targ p/pE11 Mul %Sym Exp Singles Spill
T2 30.3 9 81.7a CMS-C
CMS-E
T4 22.4 11 84.2a ALICE
ATLAS
T6 135.6 9 76.0a COMPASS

Comments 21-08-06 08:52 :
CPS access from 9:30 for 1 hour
No beam during this time

Phone 70484 or 77500
    
```

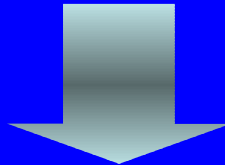


Structure en temps bien définie

Bruit de fond négligeable dans les fenêtres de coïncidence

Mesure de v : stratégie

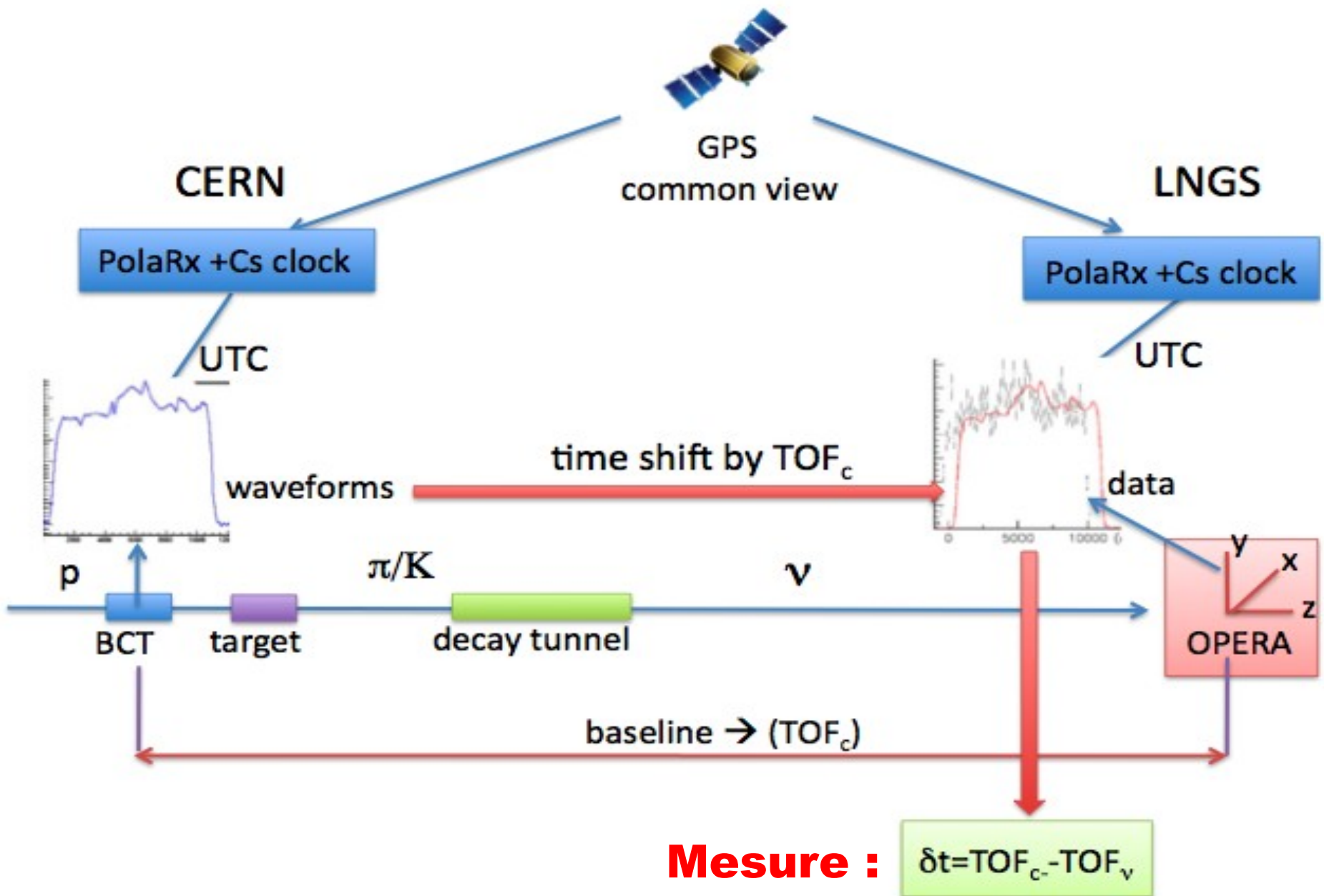
- Corrélation : paquets de protons – événement neutrino
- Faisceau neutrino de haute énergie – haute statistique ~16000 events
- Synchronization CNGS-OPERA à l'échelle de ~1 ns
- Calibrations précises des systèmes d'horloge du CNGS et d'OPERA ~1ns
- Mesure précise de la distribution temporelle des neutrinos envoyés du CERN
→ spectre temporel des protons incidents
- Mesure de la distance de vol par géodésie globale avec une précision de 20cm sur 730km



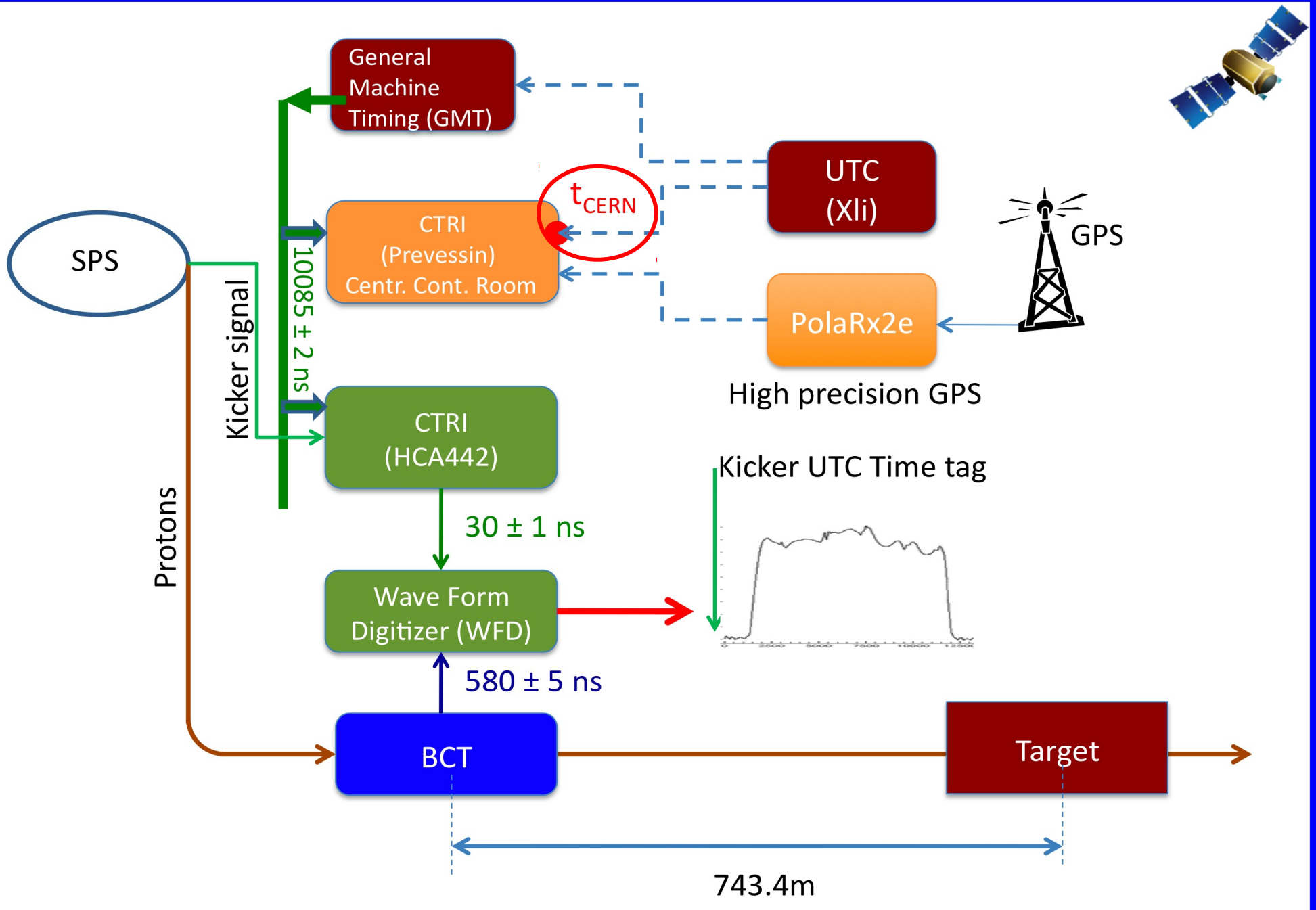
**But : une précision globale de ~10 ns sur la distance de vol
avec des erreurs stat. et sys. comparables**

<http://arxiv.org/abs/1109.4897>

Mesure de v : principe

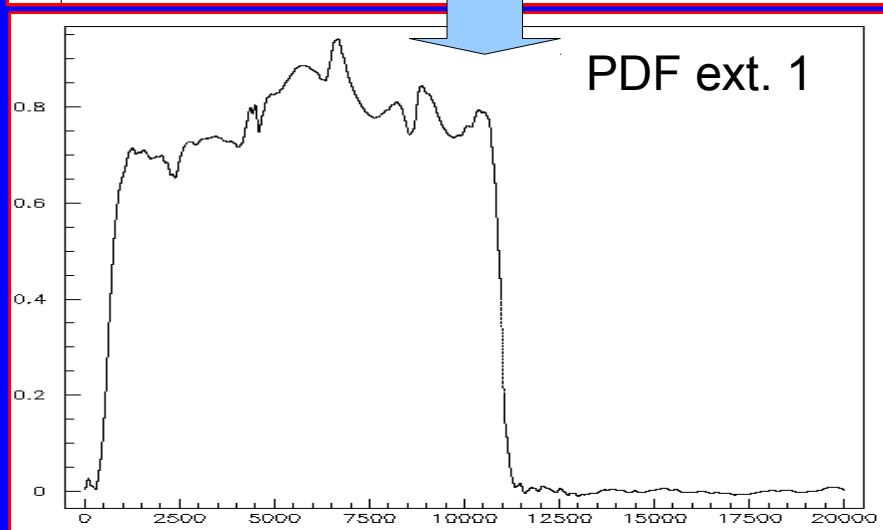
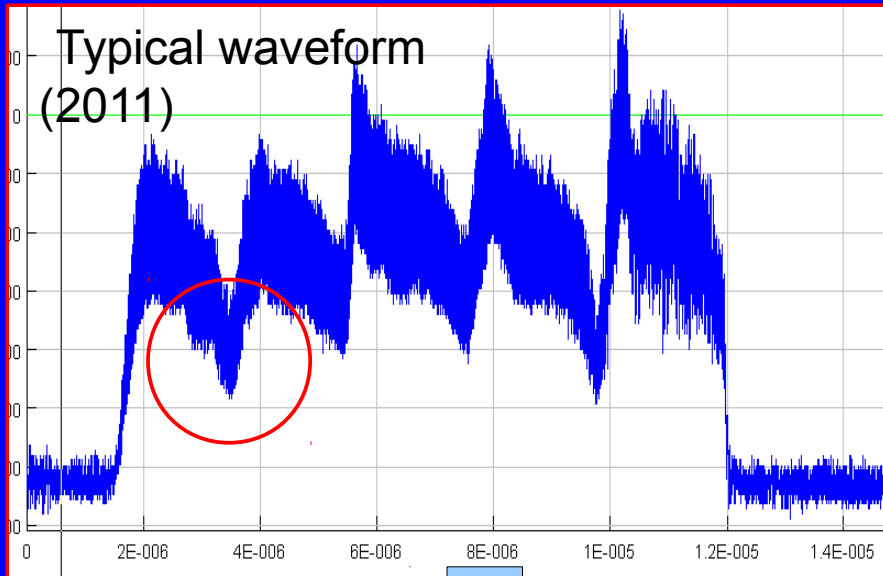


Mesure de v : côté CERN



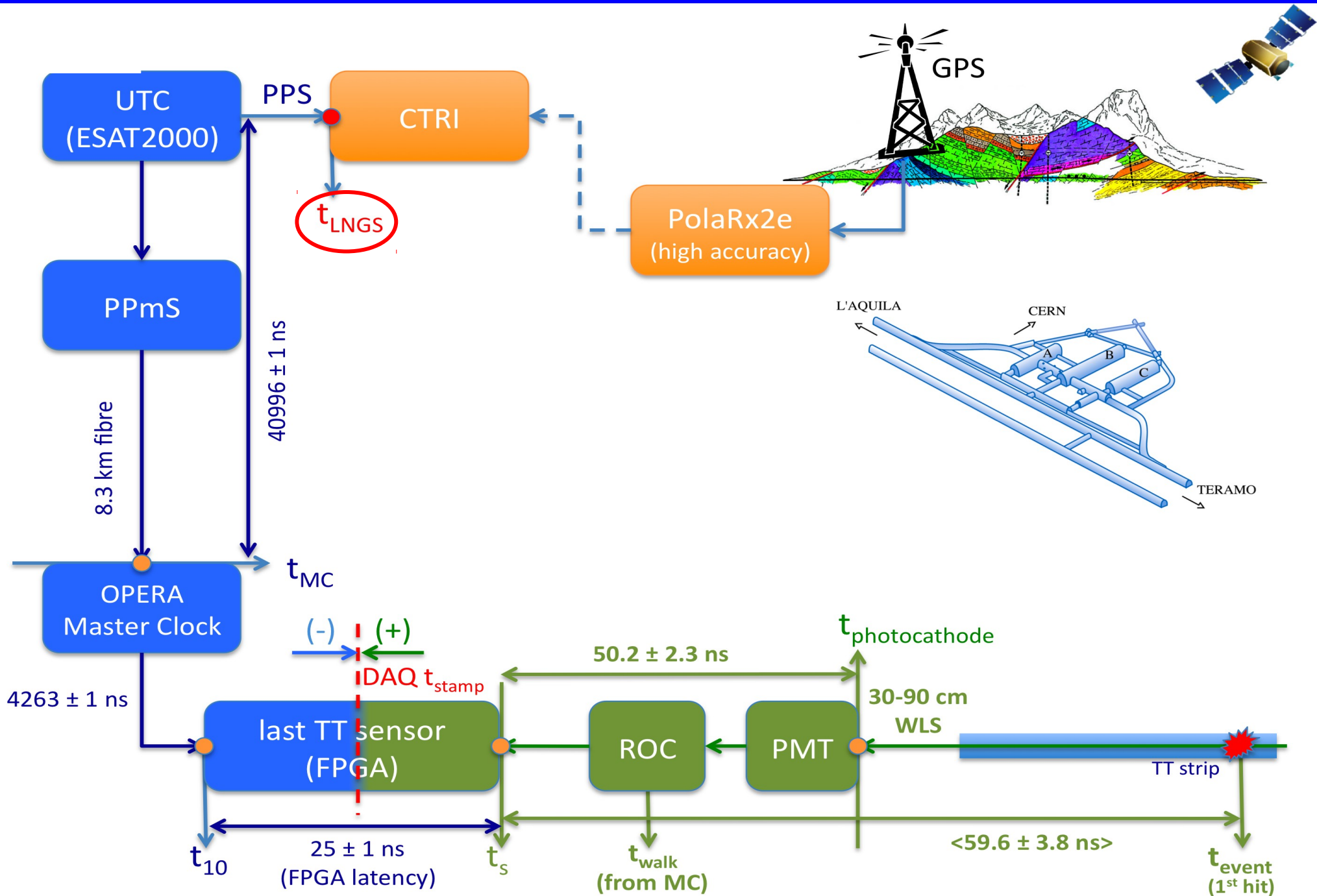
Mesure des spectres temporels des protons

- Pulses des protons mesurés au niveau d'un Beam Current Transformer (BCT)
- Digitisés par WFD : Acquis DP110 1Gs/s (digitisation déclenchée par une réplique du signal d'extraction) → "spills"
- Spills marqués en temps pour utilisation "off-line"
- Structure pulsée à 200MHz (radiofréquence SPS) → analyse de Fourier compatible

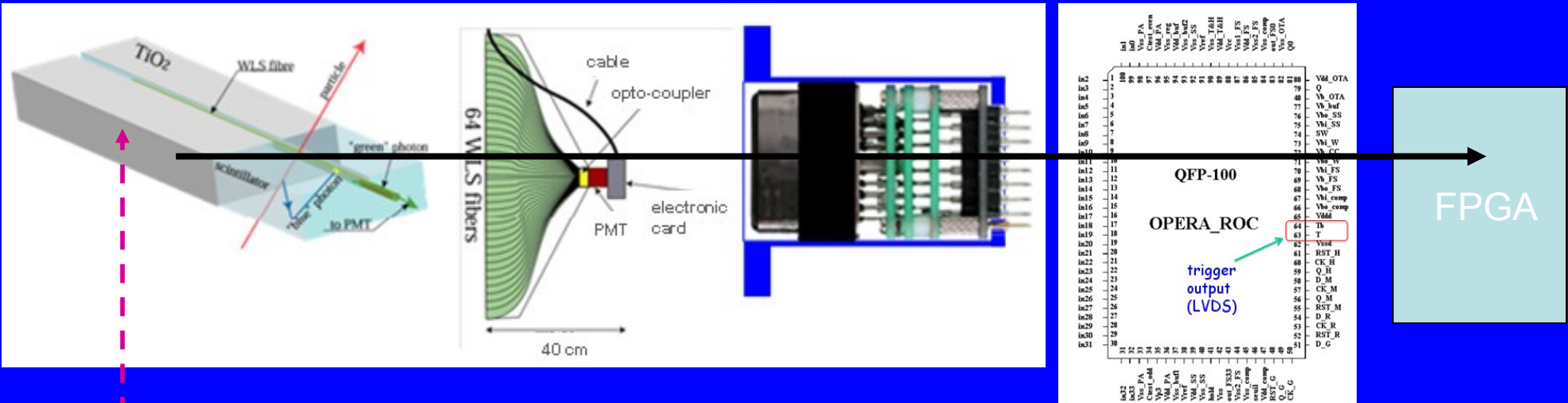


- Chaque événement est associé à son spill proton
- Le proton parent est inconnu à l'intérieur du spill de 10.5 μ s
- On définit une Fonction Densité de Probabilité (PDF) à partir des spectres sommés normalisés → **prédiction** de la distribution temporelle des neutrinos
- Cette prédiction est comparée aux événements **détectés** dans OPERA

Mesure de v : côté LNGS



Mesure des temps de réponse du trajectographe



Scintillateur, fibres WLS, PMT, électronique frontale (ROC), entrée "trigger" du FPGA

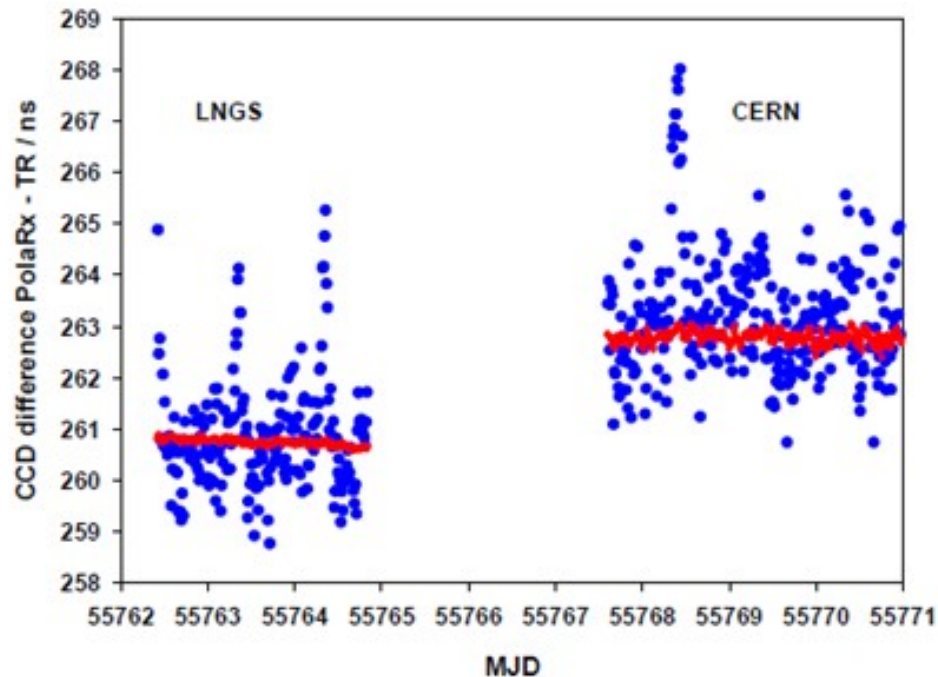
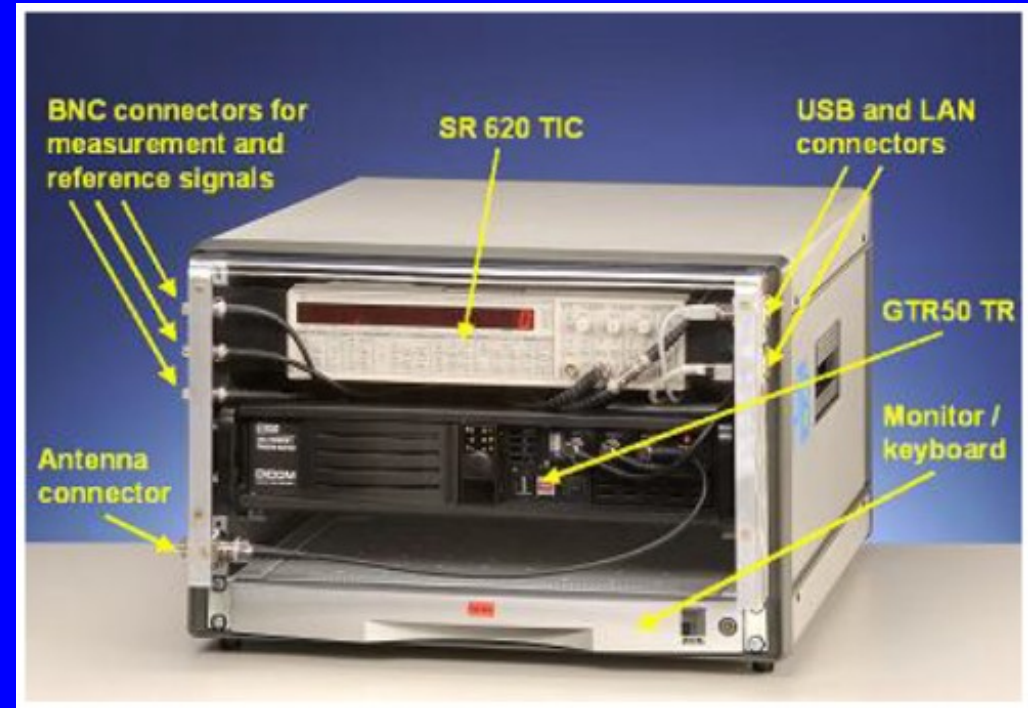
Temps de réponse moyen : 59.6 ± 3.8 ns (sys)

(incluant position et hauteur du signal, le ROC "time-walk", les effets de la quantification du système DAQ etc)

Intercalibration CERN-OPERA

Mesure réalisée par le **Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)** à partir de deux systèmes jumeaux au CERN et au LNGS et d'un système de transfert de temps "time-transfert device" (TTD) :

- GTR50 récepteur GPS thermostaté
- Source Cs externe
- Compteur d'intervalle de temps (TIC) interne



Correction relative à appliquer :

$$\Delta(t_{\text{CERN}} - t_{\text{OPERA}}) = (2.3 \pm 0.9) \text{ ns}$$

Geodesy at LNGS + CERN

Mesures dédiées au LNGS: Juil.-
Sept. 2010

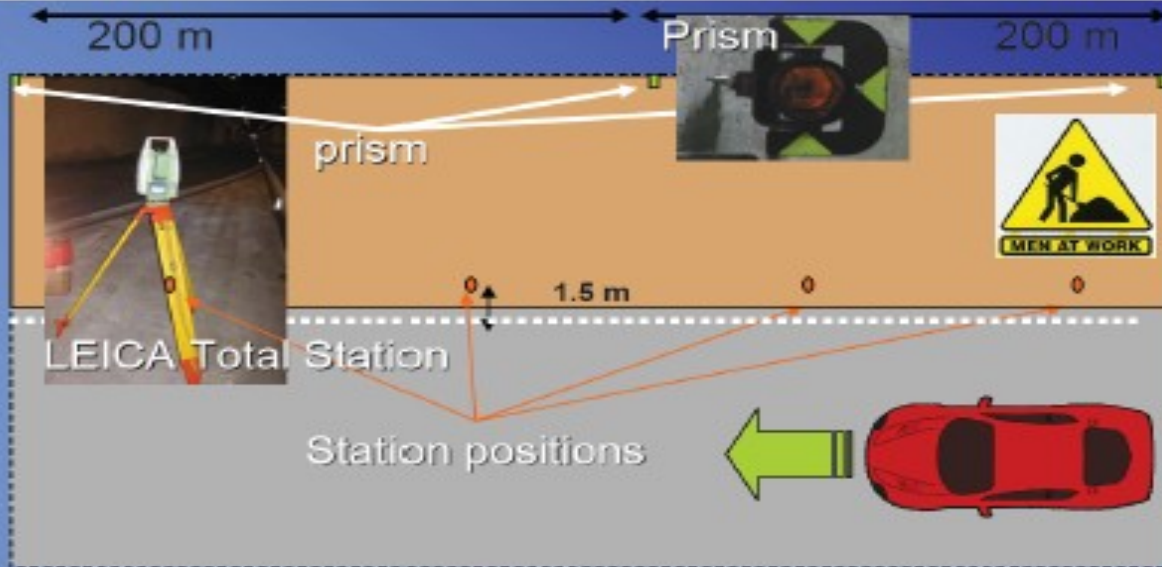
(Rome Sapienza Geodesy group)

2 nouveaux systèmes de référence
GPS de chaque côté du tunnel du
Gran Sasso (long. 10km)

Mesures GPS transférées par
triangulation optique dans le
laboratoire souterrain au niveau du
repère d'OPERA (source
d'incertitudes la + importante)

CNGS : éléments du faisceau
positionnés ~mm, transférés dans
le système de référence du CERN

Mesures simultanées et/ou
différées des références CERN-
LNGS



Polygonal in the tunnel

GPS

Scheme of
station/prisms
positions in the
tunnel

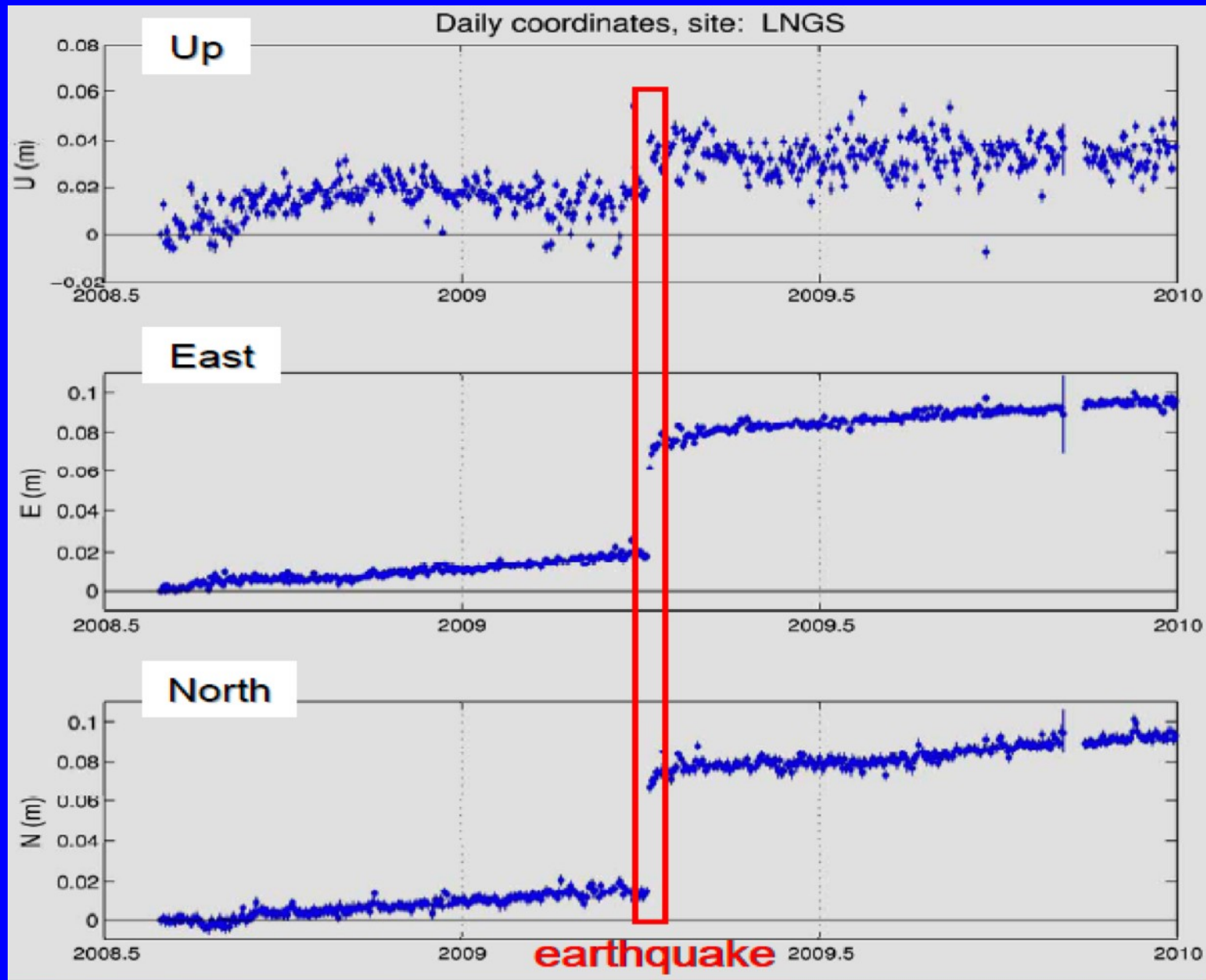
GPS

zoom

Resulting distance (BCT – OPERA reference frame)

$(731278.0 \pm 0.2) \text{ m}$

Position du LNGS



Système de positionnement permettant de mesurer la dérive des continents et d'autres événements géologiques importants (ici tremblement de terre d'avril 2009)

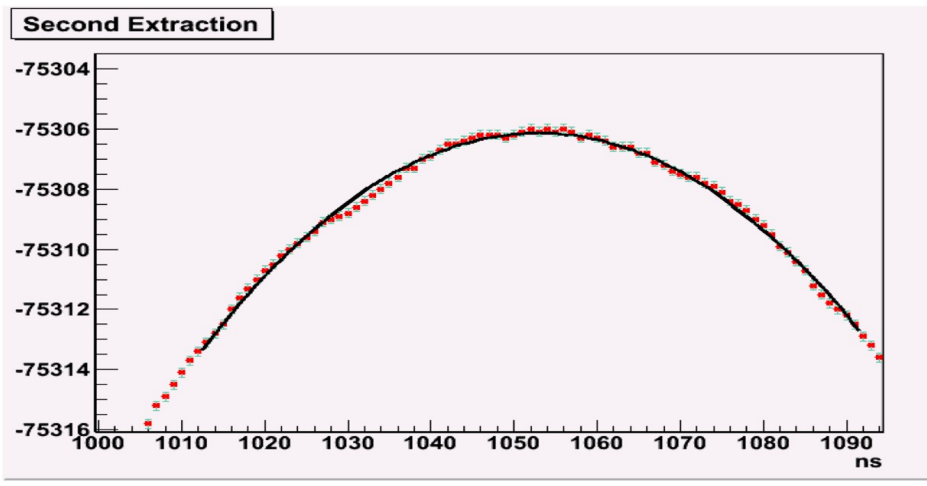
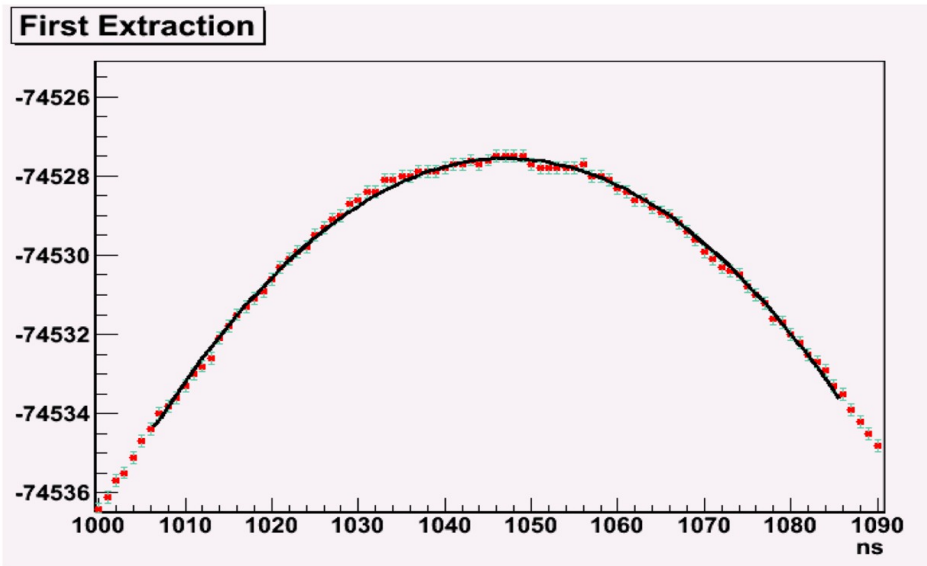
Résumé de calibrations des délais

Item	Résultat	Méthode
CERN UTC distribution (GMT)	10085 ± 2 ns	<ul style="list-style-type: none">• Portable Cs• Two-ways
WFD trigger	30 ± 1 ns	Scope
BTC delay	580 ± 5 ns	<ul style="list-style-type: none">• Portable Cs• Dedicated beam experiment
LNGS UTC distribution (fibers)	40996 ± 1 ns	<ul style="list-style-type: none">• Two-ways• Portable Cs
OPERA master clock distribution	4262.9 ± 1 ns	<ul style="list-style-type: none">• Two-ways• Portable Cs
FPGA latency, quantization curve	24.5 ± 1 ns	Scope vs DAQ delay scan (0.5 ns steps)
Target Tracker delay (Photocathode to FPGA)	50.2 ± 2.3 ns	UV picosecond laser
Target Tracker response (Scintillator-Photocathode, trigger time-walk, quantisation)	9.4 ± 3 ns	UV laser, time walk and photon arrival time parametrizations, full detector simulation
CERN-LNGS intercalibration	2.3 ± 1.7 ns	<ul style="list-style-type: none">• METAS PolaRx calibration• PTB direct measurement

Méthode d'analyse

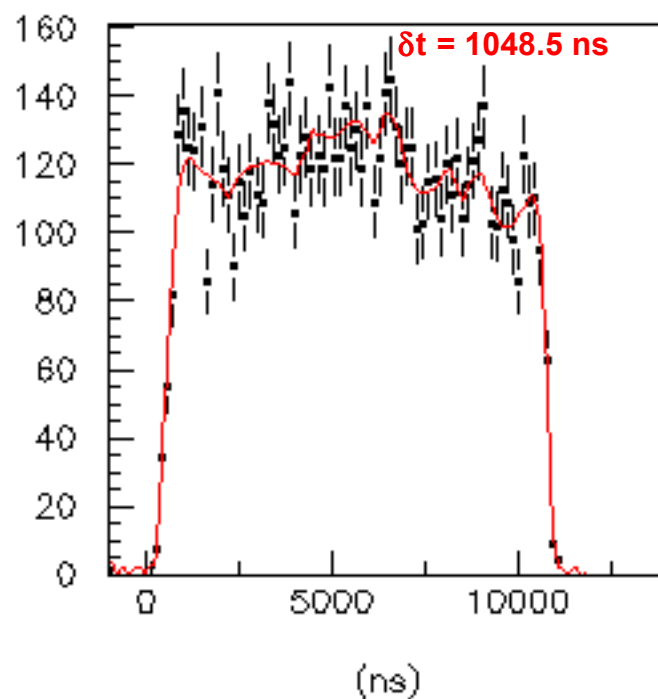
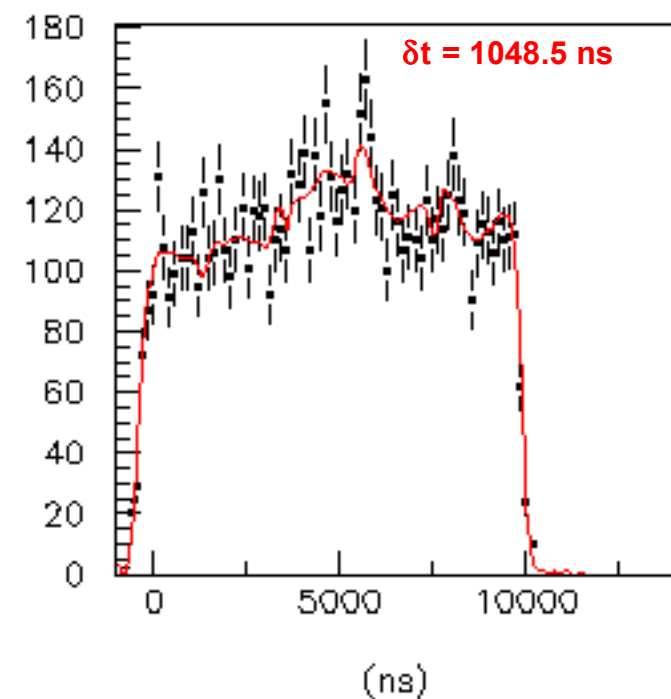
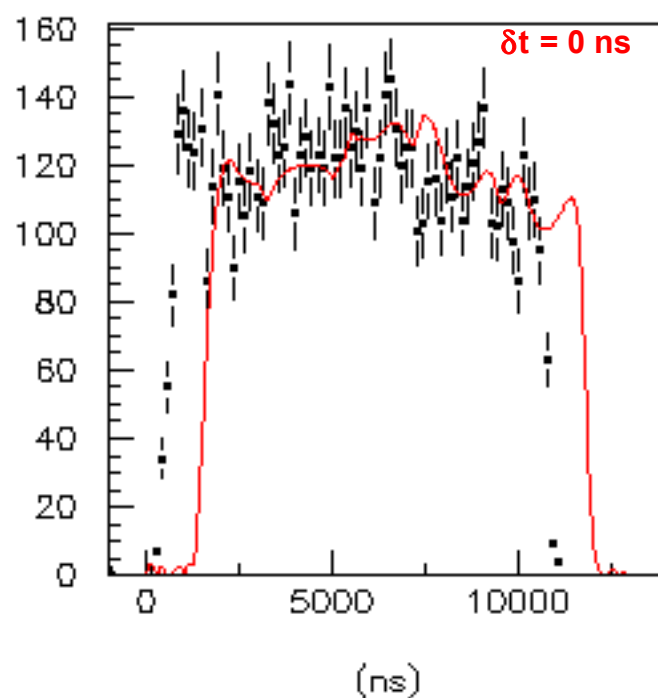
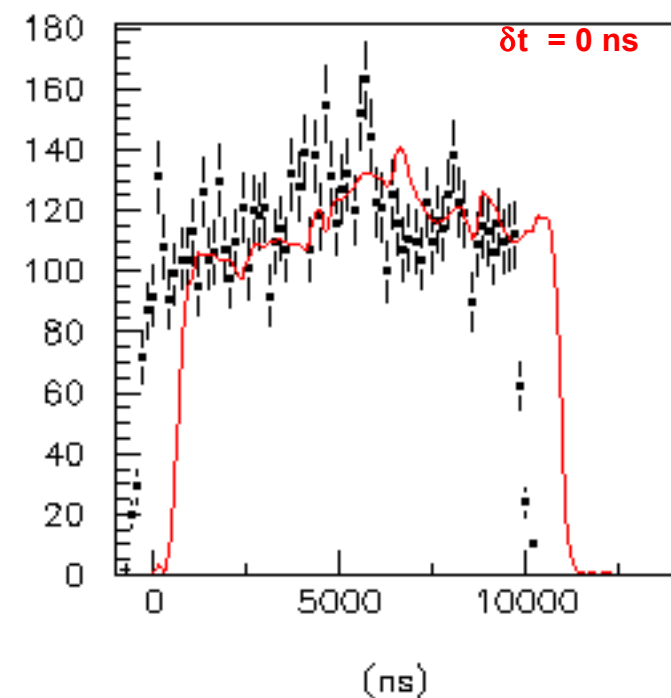
A chaque événement neutrino dans OPERA on associe son spectre d'extraction proton

On somme et on normalise \rightarrow PDF $w(t) \rightarrow$ recherche du maximum de vraisemblance pour chaque extraction ($\log[\mathcal{L}] \rightarrow$ max. d'une parabole) par rapport à $\delta t = \text{TOF}_c - \text{TOF}_\nu$



$$L_k(\delta t_k) = \prod_j w_k(t_j + \delta t_k) \quad k=1,2 \text{ extractions}$$

Comparaison données/PDF: avant et après ajustement de \mathcal{L}



(BLIND) $\delta t = \text{TOF}_c - \text{TOF}_v =$
(1048.5 \pm 6.9) ns (stat)

χ^2 / ndof :

extraction 1 : 1.06

extraction 2 : 1.12

Analyse aveugle : on ouvre la boîte...

Corrections appliquées

Erreurs systématiques

	Blind 2006	Final analysis	Correction (ns)
Baseline (ns)	2440079.6	2439280.9	
Correction baseline			-798.7
CNGS DELAYS :			
UTC calibration (ns)	10092.2	10085	
Correction UTC			-7.2
WFD (ns)	0	30	
Correction WFD			30
BCT (ns)	0	-580	
Correction BCT			-580
OPERA DELAYS :			
TT response (ns)	0	59.6	
FPGA (ns)	0	-24.5	
DAQ clock (ns)	-4245.2	-4262.9	
Correction TT+FPGA+DAQ			17.4
GPS synchronization (ns)	-353	0	
Time-link (ns)	0	-2.3	
Correction GPS			350.7
Total			-987.8

Systematic uncertainties	ns
Baseline (20 cm)	0.67
Decay point	0.2
Interaction point	2
UTC delay	2
LNGS fibres	1
DAQ clock transmission	1
FPGA calibration	1
FWD trigger delay	1
CNGS-OPERA GPS synchronization	1.7
MC simulation (TT timing)	3
TT time response	2.3
BCT calibration	5
Total uncertainty (in quadrature)	7.4

Résultats

Pour les ν_μ du CNGS, $\langle E \rangle = 17$ GeV:

$$\delta t = \text{TOF}_c - \text{TOF}_\nu =$$

$$(1048.5 \pm 6.9 \text{ (stat.)}) \text{ ns} - 987.8 \text{ ns} = (60.7 \pm 6.9 \text{ (stat.)} \pm 7.4 \text{ (sys.)}) \text{ ns}$$

→ **différence relative de v par rapport à c :**

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

→ **6.0 σ significance**

Pas d'effet jour/nuit

Pas de dépendance énergétique observée

Pas de différence extractions 1 / 2

Pas de différence 2009/2010/2011

FNAL (Phys. Rev. Lett. 43 (1979) 1361)

$$\rightarrow |v-c|/c \leq 4 \times 10^{-5}$$

SN1987A (Phys. Lett. B 201 (1988) 353)

$$\rightarrow |v-c|/c \leq 2 \times 10^{-9}$$

MINOS (Phys. Rev. D 76 072005 2007)

$$\rightarrow (v-c)/c = 5.1 \pm 2.9 \times 10^{-5} \text{ (1.8 } \sigma)$$

Conclusions

Le secteur des neutrinos est en effervescence !

- Les premières indications directes (et aussi indirectes) des oscillations de neutrinos affluent, dans différents "secteurs", et permettent une métrologie fine des paramètres existant et une recherche possible des paramètres inconnus (phase de violation de CP, hiérarchie des masses etc)
- Dans sa quête des oscillations de neutrinos, le détecteur OPERA dans le faisceau de neutrinos muoniques CNGS du CERN a mesuré, avec une précision encore jamais atteinte, la vitesse de propagation des neutrinos sur leur distance de vol de ~730km.
- La précision statistique (~16.000 événements) est comparable à la précision systématique atteinte par une amélioration draconienne des systèmes de mesures des temps et des positions et de l'inter-calibration des deux sites distants (CERN et LNGS).
- L'analyse des données de 2009, 2010 et 2011 indique que des neutrinos, d'énergie moyenne 17 GeV, se propageant dans la croûte terrestre, arrivent en avance par rapport à l'estimation de leur temps d'arrivée s'ils se propageaient à la vitesse de la lumière :

$$\delta t = \text{TOF}_c - \text{TOF}_\nu = (60.7 \pm 6.9 \text{ (stat.)} \pm 7.4 \text{ (sys.)}) \text{ ns}$$

- La collaboration OPERA ne peut pas expliquer cet effet en terme d'erreur systématique. La mesure indique donc une vitesse de propagation supérieure à la vitesse de la lumière:

$$(v-c)/c = \delta t / (\text{TOF}_c - \delta t) = (2.48 \pm 0.28 \text{ (stat.)} \pm 0.30 \text{ (sys.)}) \times 10^{-5}$$

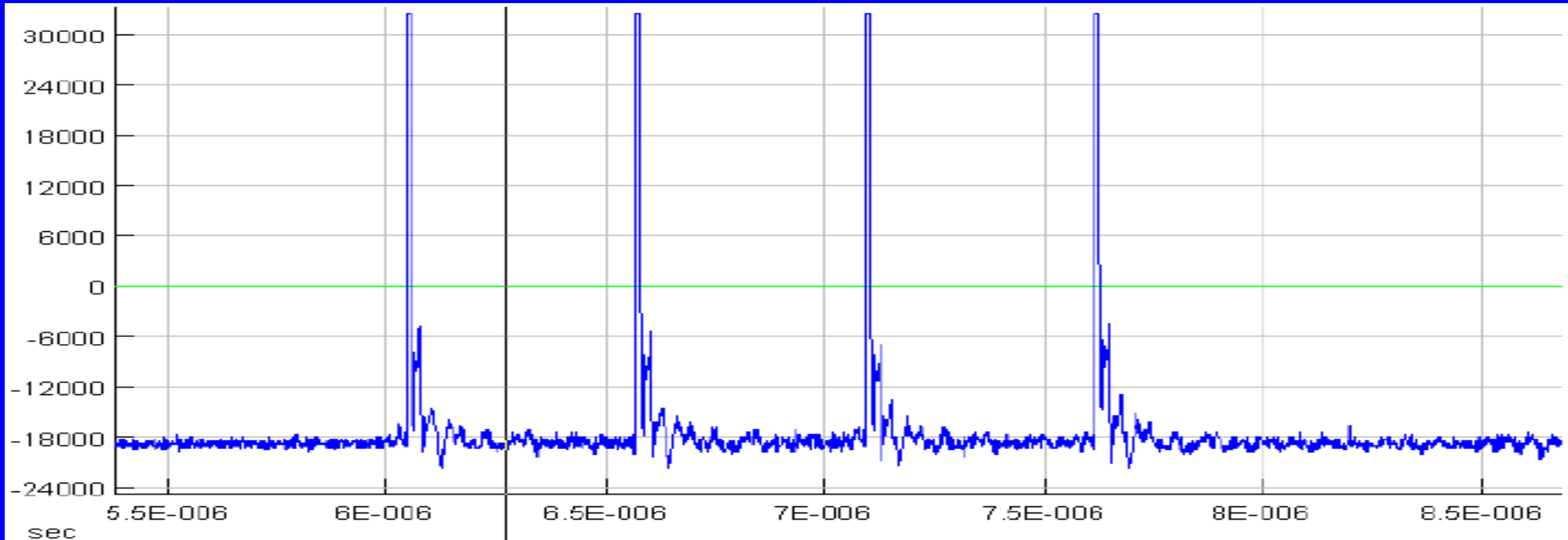
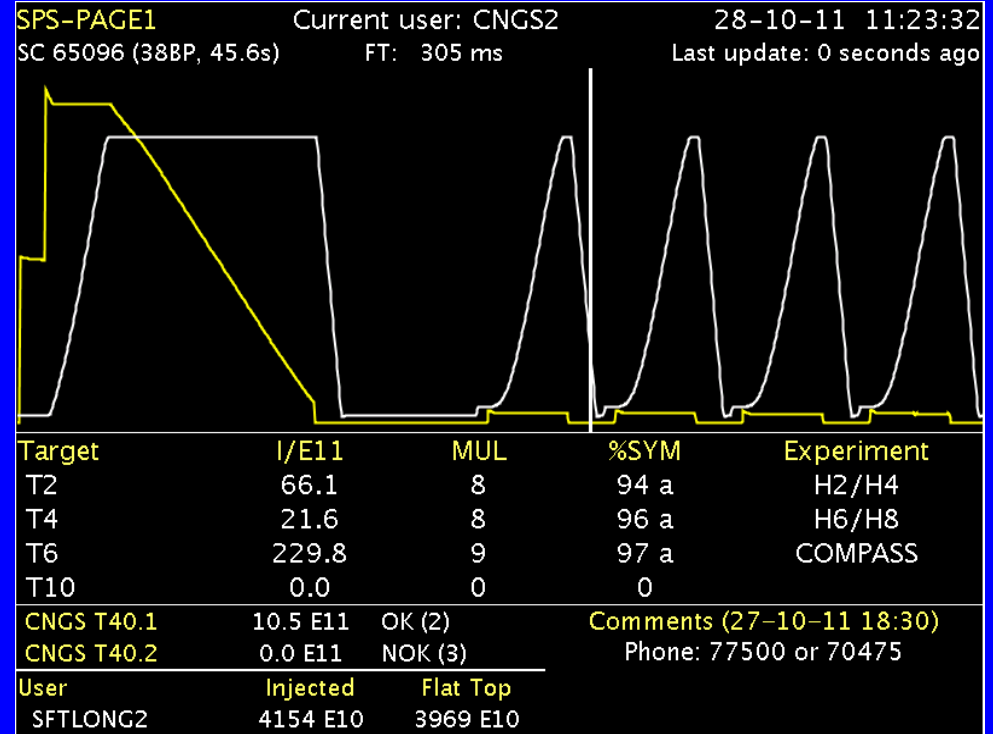
résultat significatif à 6σ .

1^{ers} retours et 1^{ers} tests

Tests sur faisceau "bunché" :

- 1 Extraction/cycle
- 4 Bunches/Extraction séparés par 524 ns,
- Bunches de ~3 ns \ll 10.5 μ s
- Intensité typique : $1.05 \cdot 10^{12}$ pot/extraction \ll faisceau standard

\Rightarrow confirmation du résultat obtenu avec le faisceau standard (analyse en cours)



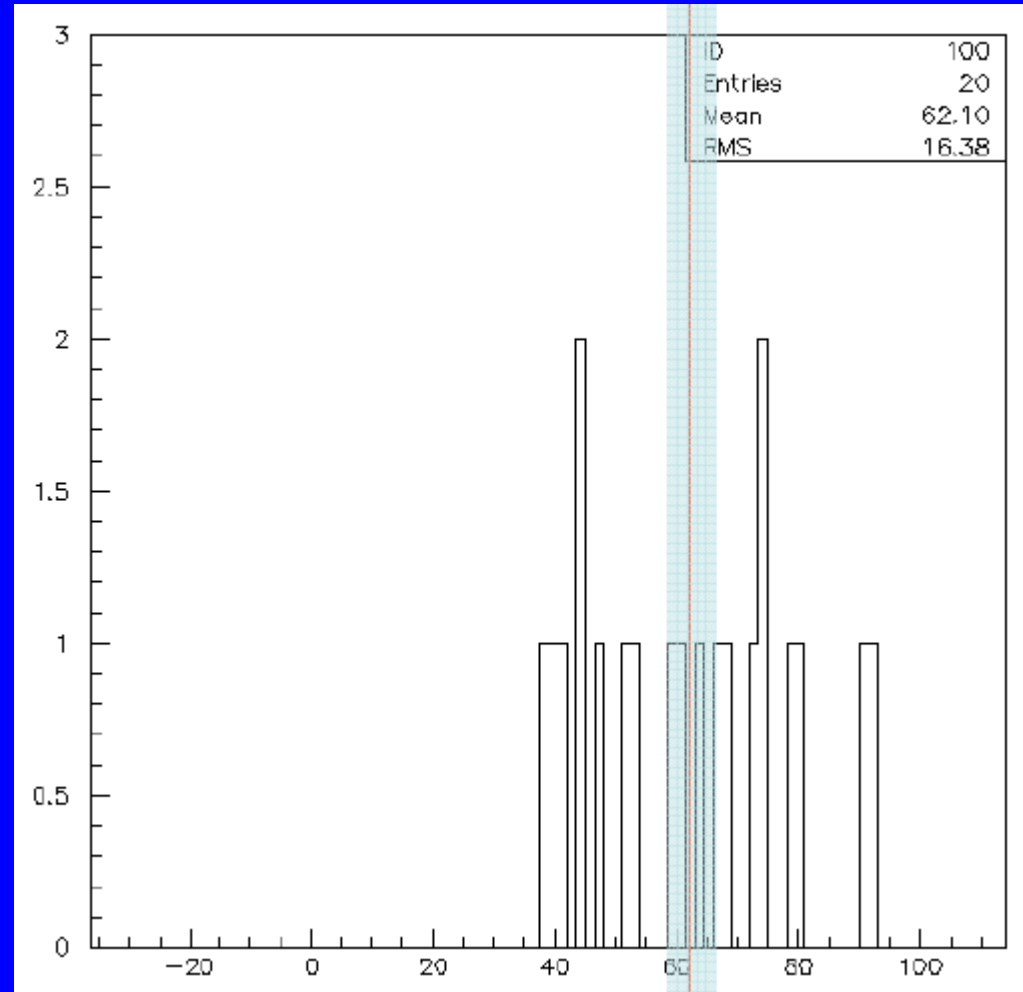
1^{ers} retours et 1^{ers} tests

Résumé :

Tous evts: 35 (~2170 std)

Evts retenus: 20

<i>Event</i>	<i>TL</i>	ΔT_{blind}
11295049482	-206.3	1060.5
11297012733	-209.4	1052.6
11301015866	-231.1	1059.6
11301021609	-210.8	1029.1
11301023542	-185.9	1066.1
11302017769	-236.4	1033,0
11302033525	-185.2	1036,8
11302045432	-196.5	1023.8
11303013073	-218.8	1049.0
11303022043	-188.3	1063.9
11305023764	-173.8	1054.2
11305030097	-195.7	1030.4
11306009563	-219.1	1077.2
11306017917	-211.5	1045.1
11306010432	-218.7	1026.5
11306041097	-182.8	1058.1
11309048349	-220.3	1046.7
11310019147	-197.5	1038.2
11310023181	-170.3	1024.6
11310040880	-176.7	1076.8



=> 62.1 +/- 4.2 ns