



Antony Sarrat
CEA Saclay, Dapnia

Le Dapnia dans l'expérience T2K

- L'oscillation des neutrinos.
- L'expérience T2K.
- Activités du Dapnia dans T2K.



Le Groupe T2K

- Electronique: Pascal Baron, Denis Calvet, Xavier Delabroise, Eric Delagnes, Frédéric Druillole, Jean-Louis Falloux, Jean-Marc Reymond, Estelle Virique, Eric Zonca
- Micromegas: Alain Delbart, Arnaud Giganon, Yannis Giomataris, Jean-Philippe Mols, Jean-Louis Ritou
- Instrumentation: Jean-Paul Charrier, Frédéric Molinié
- Bureau d'études: Christophe Coquelet, Patrick Graffin, François Nizery
- Physiciens: Jérémy Argyriadès, Jacques Bouchez, Christian Cavata, Paul Colas, Sandrine Emery, Maximilien Fechner, Edoardo Mazzucato, François Pierre, Antony Sarrat, Marco Zito

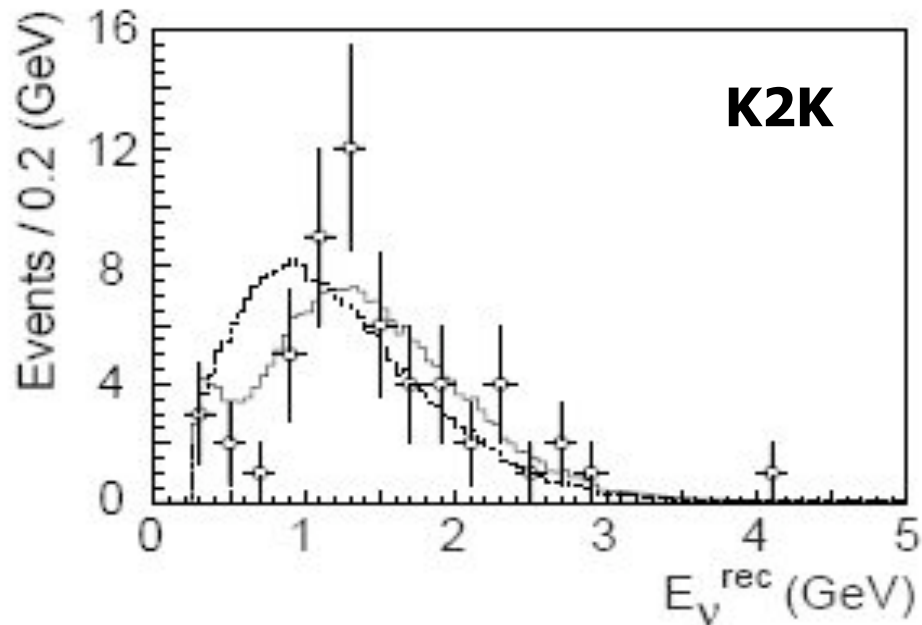


L'Oscillation des Neutrinos



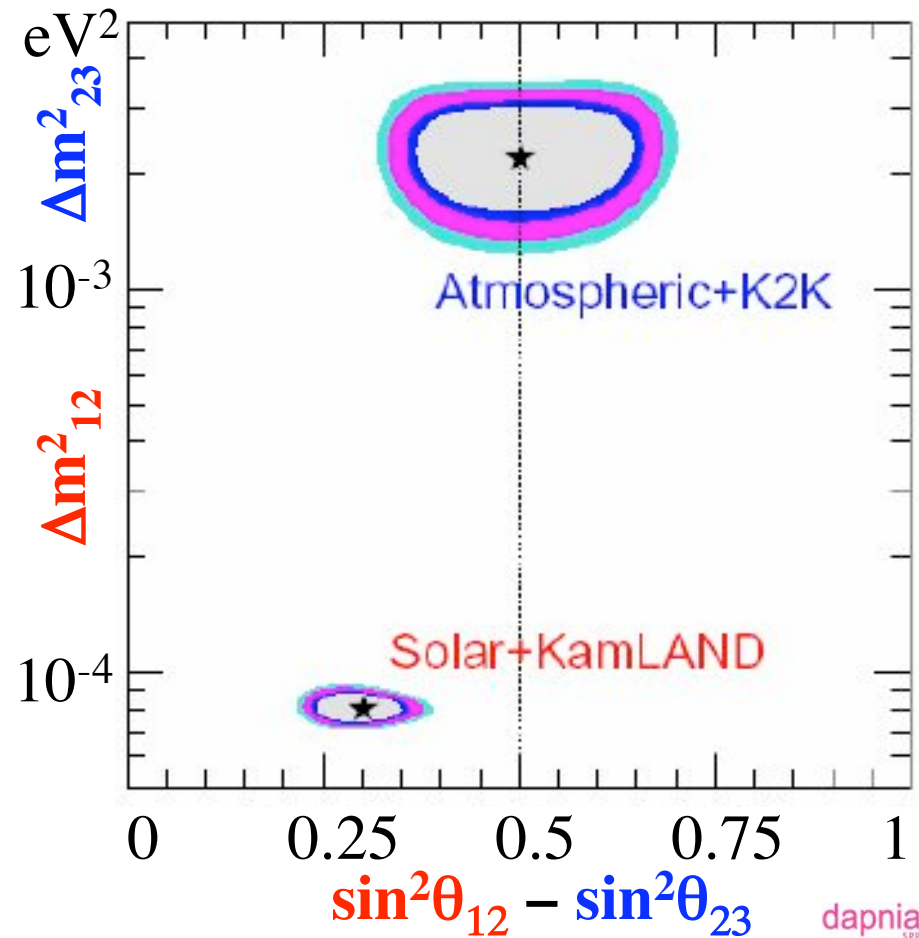
10 Années de Découvertes

- Solution du déficit des neutrinos solaires
- Découverte de l'oscillation des neutrinos atmosphériques
- Rôle très important des échanges avec la physique des réacteurs et accélérateurs.



A. Sarrat

Séminaire Dapnia, 19/06/06



dapnia
SPP

cea

saclay



L'Oscillation des Neutrinos

Mélange à 3ν

- Les neutrinos se mélangent: $(\nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau)^T = U (\nu_1, \nu_2, \nu_3)^T$
- Matrice PMNS équivalente à la matrice CKM des quarks:

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

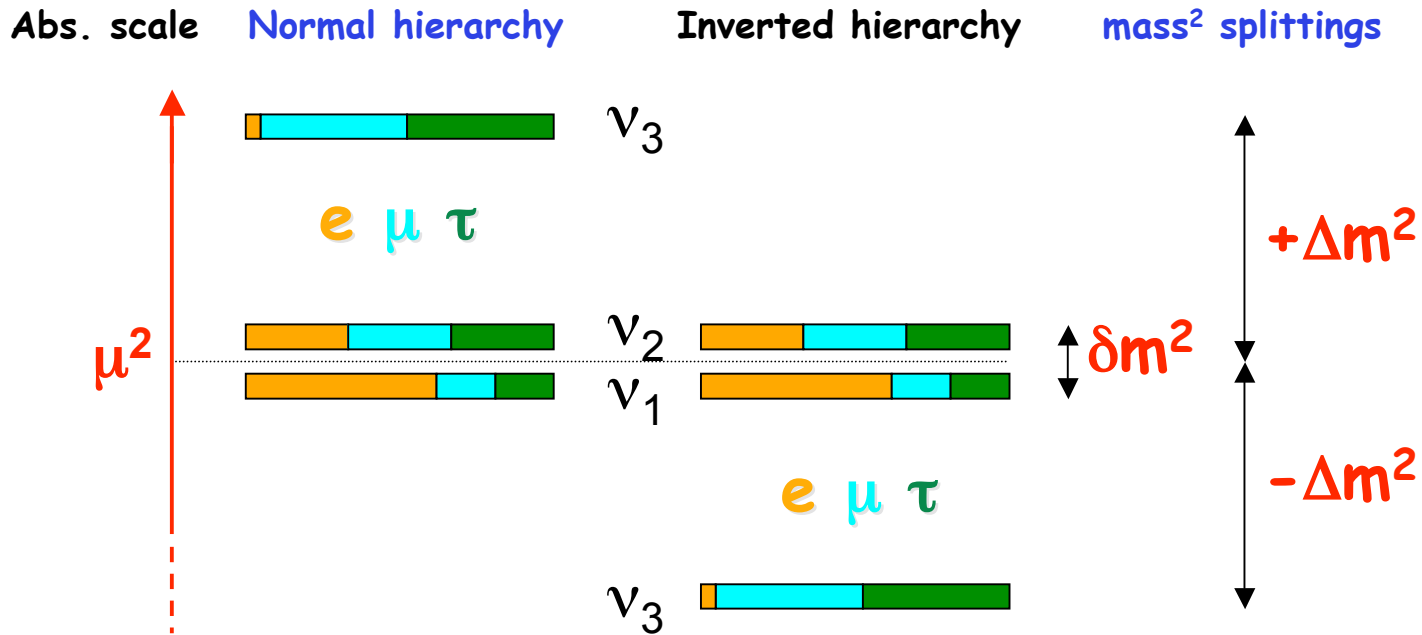
... mais avec des angles très différents:

$$s_{23}^2 \sim 0.5 \quad s_{13}^2 < \text{quelques } \% \quad s_{12}^2 \sim 0.3$$

- Si $\sin^2\theta_{13} \neq 0$, il sera possible d'observer la phase δ de violation de CP.
("graal" des futures expériences d'oscillation de ν)



3ν mass² spectrum and flavor content



$\delta m^2 \simeq 8.0 \times 10^{-5} \text{ eV}^2$ ("solar" splitting)

$\Delta m^2 \simeq 2.4 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$ ("atmospheric" splitting)

Absolute mass scale μ unknown [but $< O(\text{eV})$]

Hierarchy [$\text{sign}(\Delta m^2)$] unknown

ν_e content of ν_3 unknown [but $< \text{few}\%$]



Questions en Suspens

- Quelle est la masse des neutrinos ? Les neutrinos sont-ils leur propre antiparticule ? Spectre β , Double β (**NEMO**)
- Quelles sont les caractéristiques du mélange ? θ_{13} ?
Minos, Opera, **T2K**, **Double-Chooz**, Daya Bay, Nova.
- Est-ce que les neutrinos violent la symétrie CP ?
MEMPHYS, **T2K Phase-2**, UNO



T2K

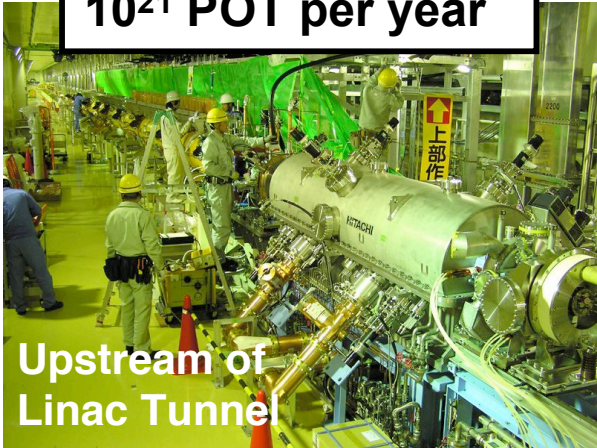
Tokai to Kamioka



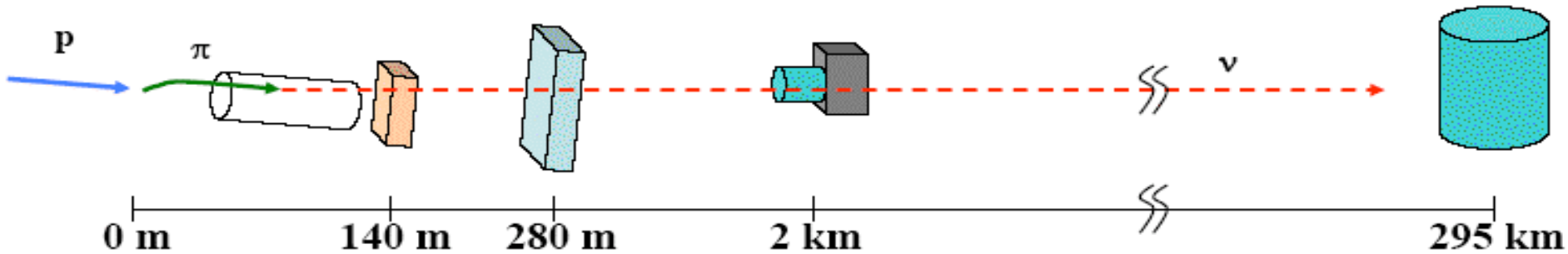
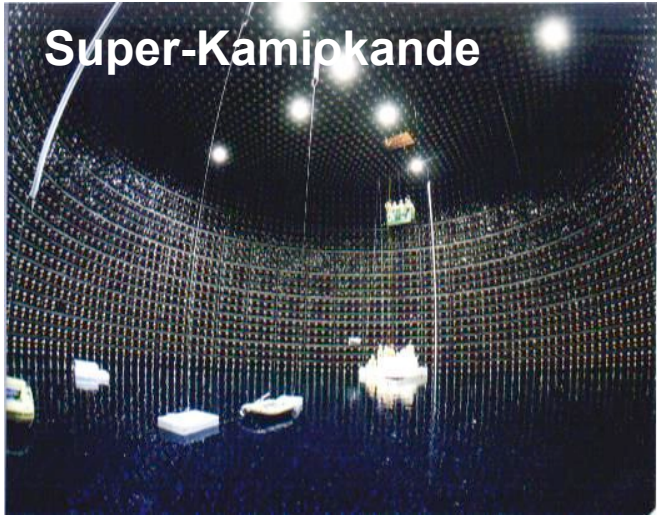
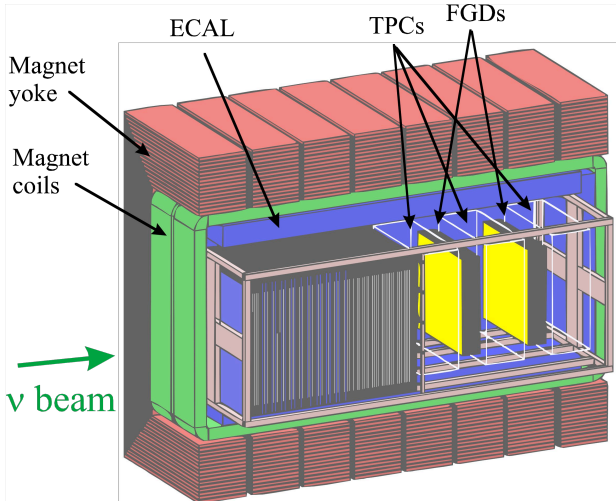


Principe de l'Expérience

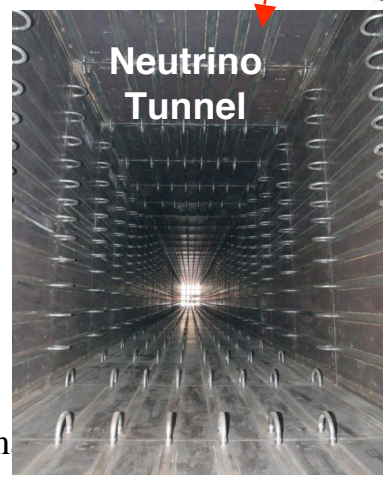
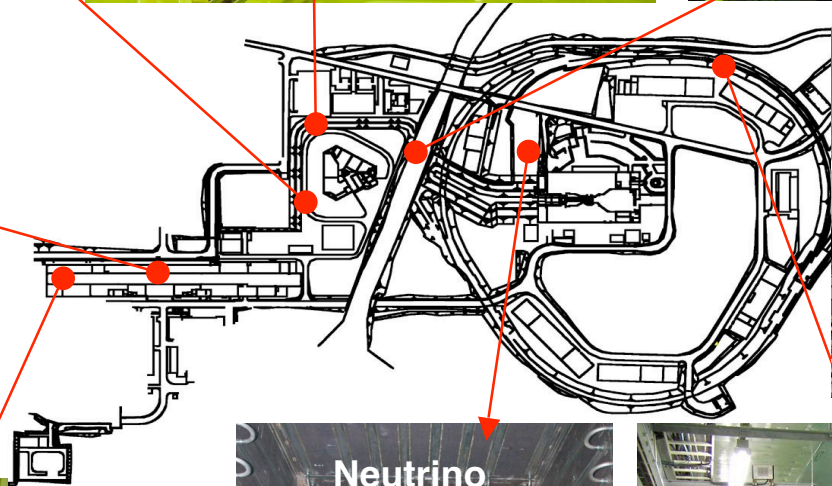
1 MW proton beam
 10^{21} POT per year



Upstream of
 Linac Tunnel



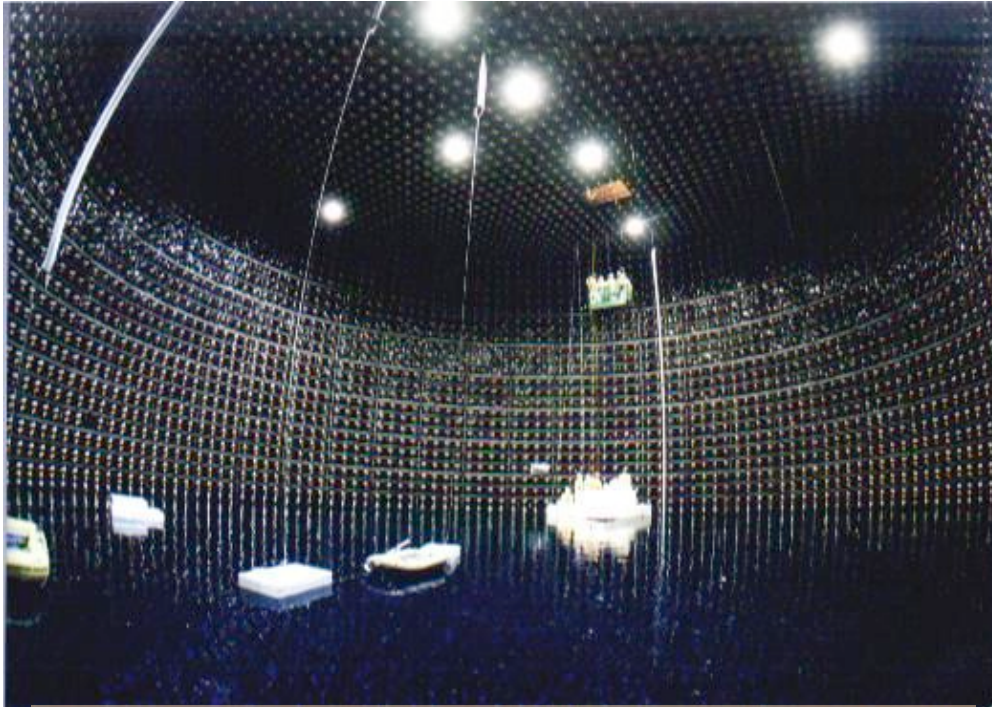
Prise de données: Avril 2009



Sémin



Super Kamiokande

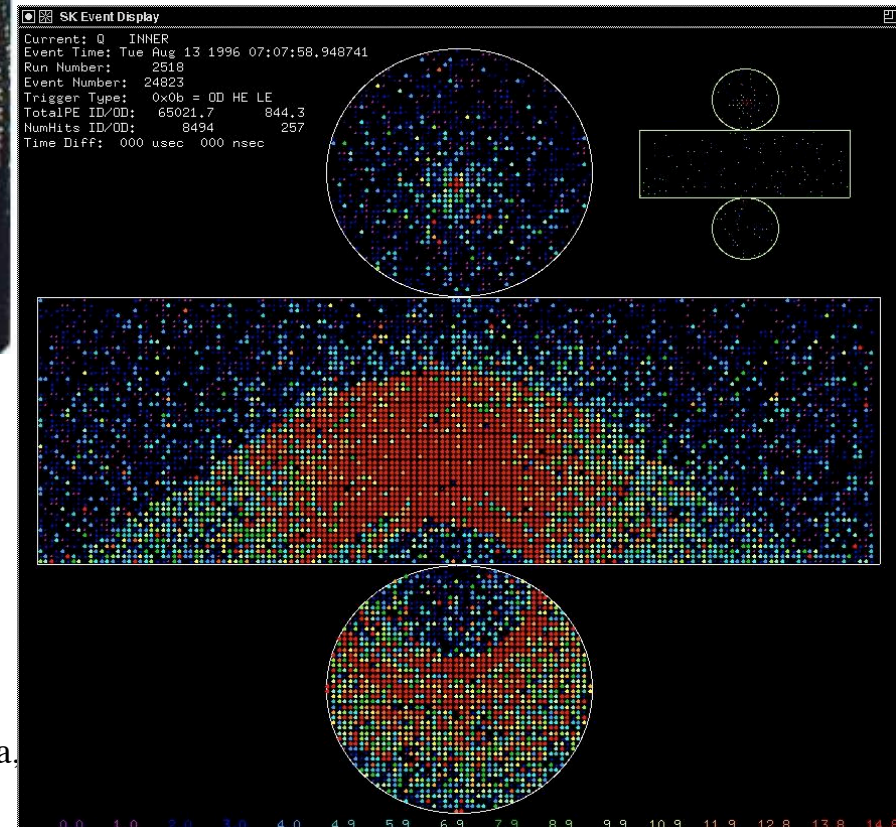


Détecteur Cherenkov à eau
50.000 tonnes
~11000 PMT de 20''

Technologie adaptée aux
détecteurs massifs,
bien maîtrisée au Japon.
Très bonne séparation e/μ

A. Sarrat

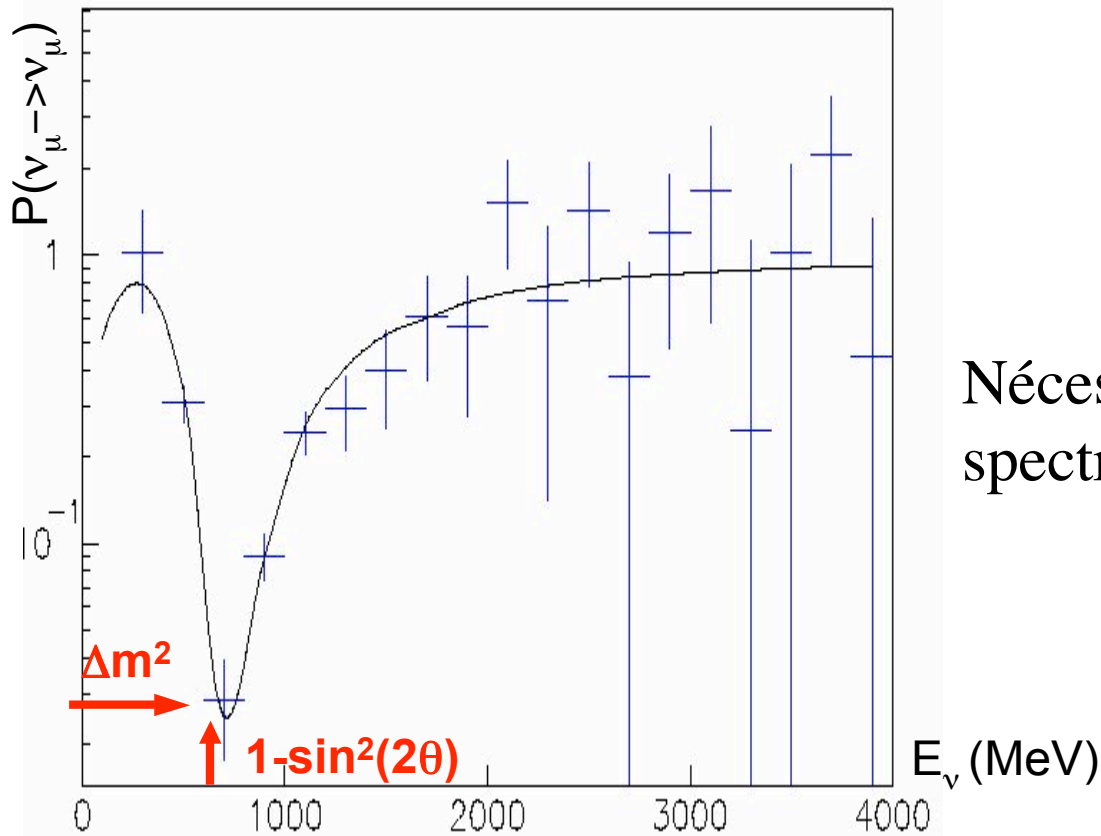
Séminaire Dapnia.





Disparition de ν_μ Mesure Précise de Δm^2_{23} et θ_{23}

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu) \approx 1 - \cos^4 \theta_{13} \sin^2 2\theta_{23} \sin^2 (1.27 \Delta m^2_{23} L/E_\nu)$$



5000 evt/an à SK

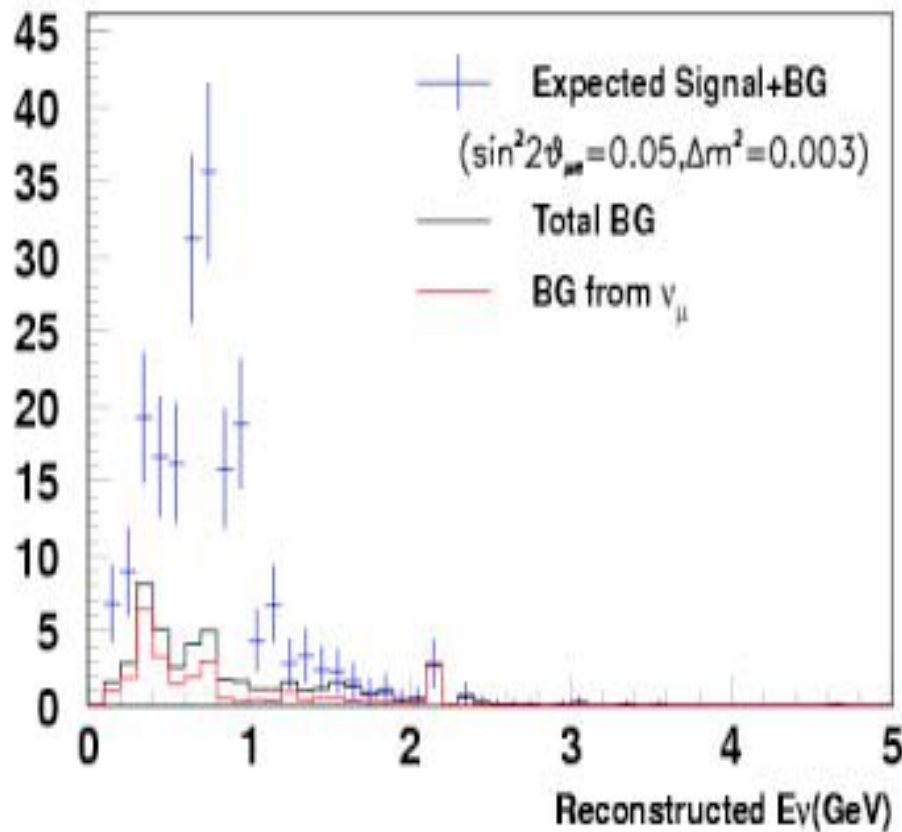
10^5 evt/an à 280m

Nécessite la mesure du flux et du spectre par le détecteur proche.



Apparition de ν_e Mesure de θ_{13}

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) \approx \sin^2 2\theta_{13} \sin^2 (1.27 \Delta m_{13}^2 L/E_\nu)$$



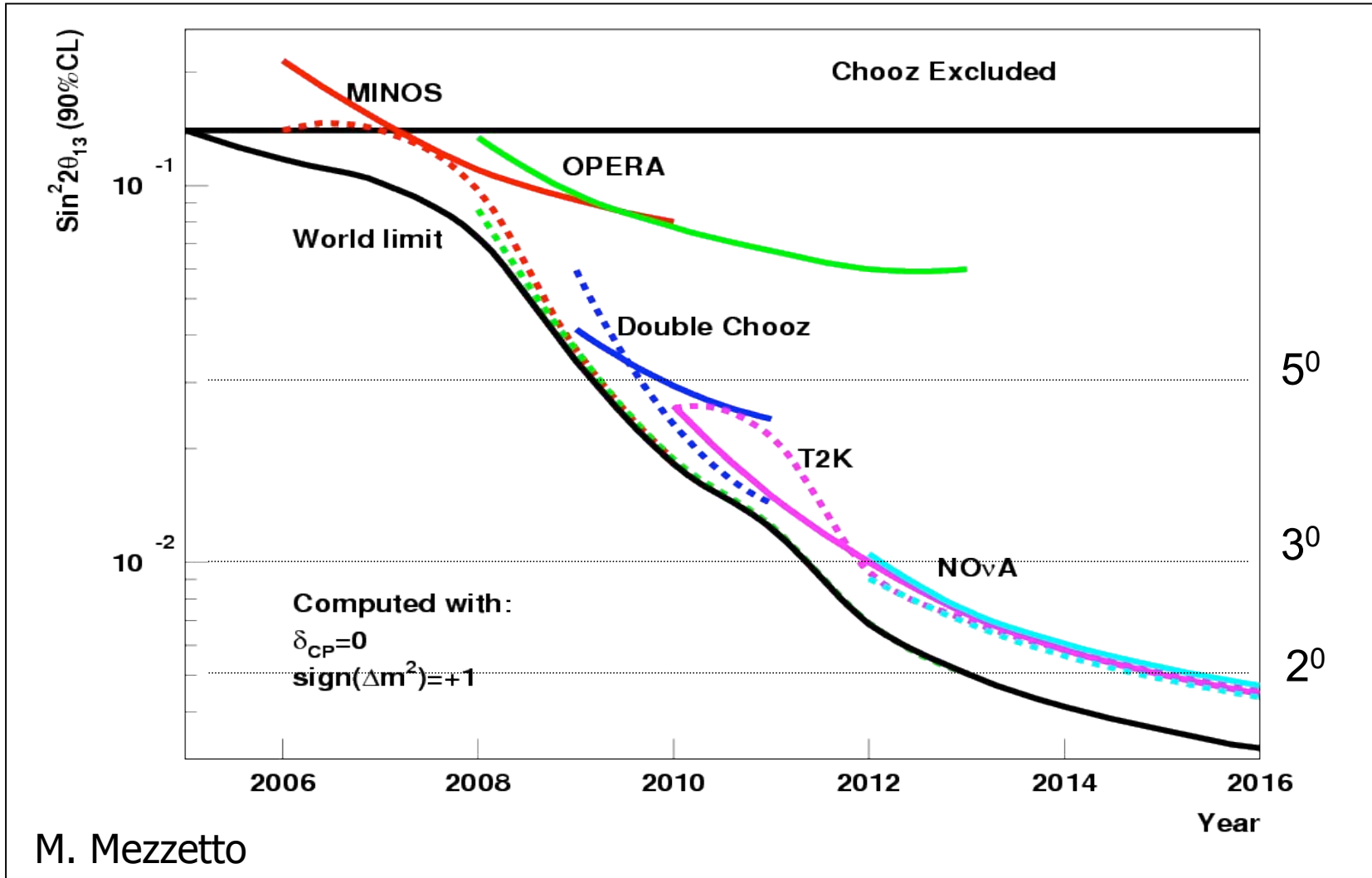
100 évt/5 ans pour:
- $\sin^2(2\theta) = 0.1$
- 15 bruit de fond

Nécessite:

- de mesurer la contamination en ν_e du faisceau
- d'étudier d'autres sources de bruit de fond ($\nu n \rightarrow \nu n \pi^0$).



Sensibilité à θ_{13}





Intérêt Scientifique

- Mesure de précision des paramètres θ_{23} et Δm^2_{23}
- Grande sensibilité à θ_{13} : 10 x Chooz
- Première étape vers une expérience de violation de CP dans le secteur leptonique :
 - Faisceau à haute intensité
 - Détecteur proche très performant, magnétisé.
 - Technique de Cherenkov à eau (Mégatonne)



But du Détecteur Proche

Disparition

- Mesure du flux et du spectre de ν_μ basée sur l'interaction quasi-élastique due aux courants chargés (CCQE): $\nu n \rightarrow \mu p$

($p_\mu \approx 1 \text{ GeV}/c$, $p_{\text{proton}} \approx 300 \text{ MeV}/c$)

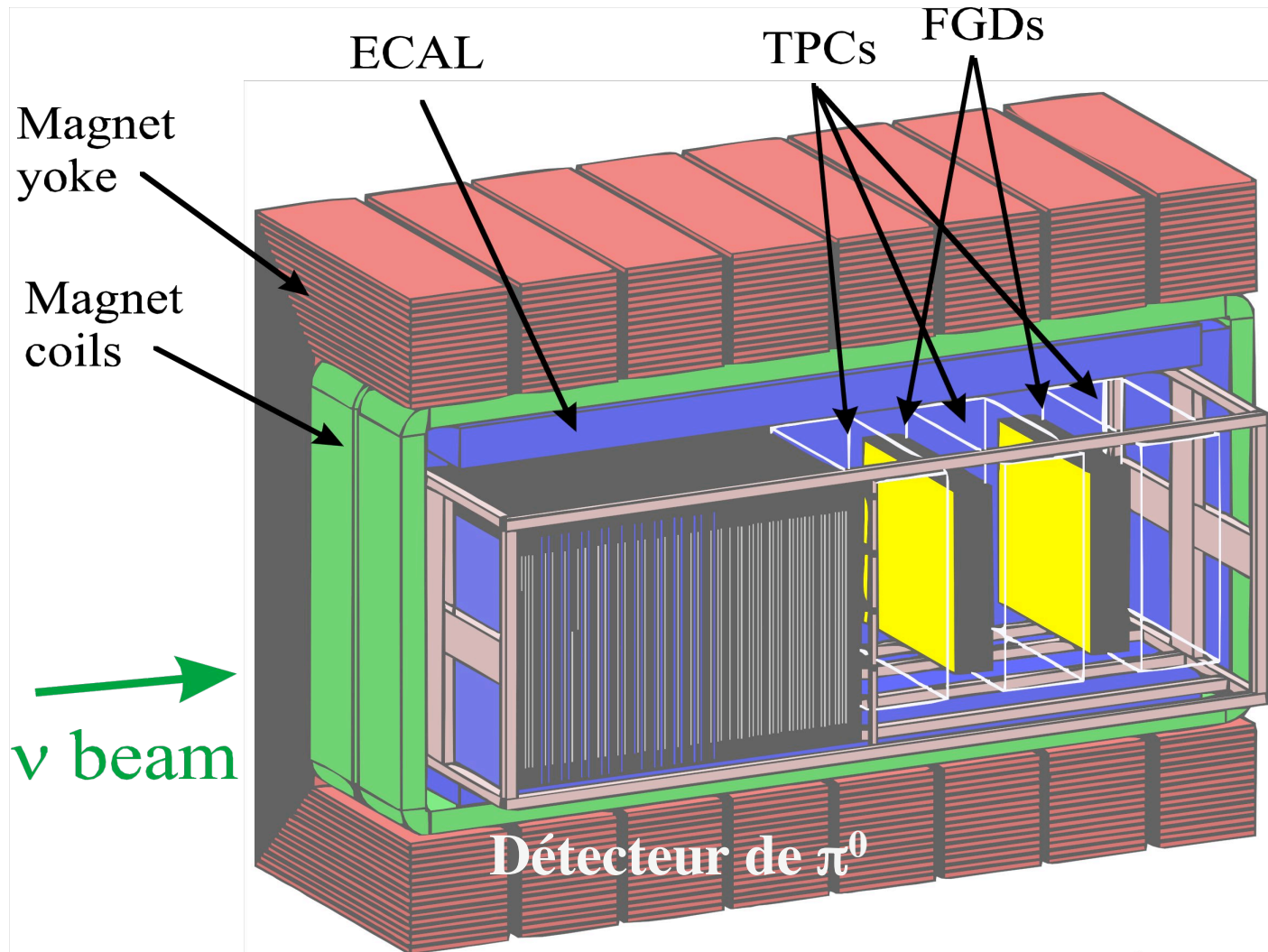
$$E_\nu^{rec} = \frac{m_N E_\mu - m_\mu^2 / 2}{m_N - E_\mu + p_\mu \cos \theta_\mu}$$

Apparition

- Mesure de la contamination en ν_e du faisceau.
- Mesure des courants neutres $\nu n \rightarrow \nu n \pi^0$ (bruit de fond pour l'apparition de ν_e à SK)



Le Détecteur Proche à 280m



Aimant de UA1
7.6*6.1*5.6 m³

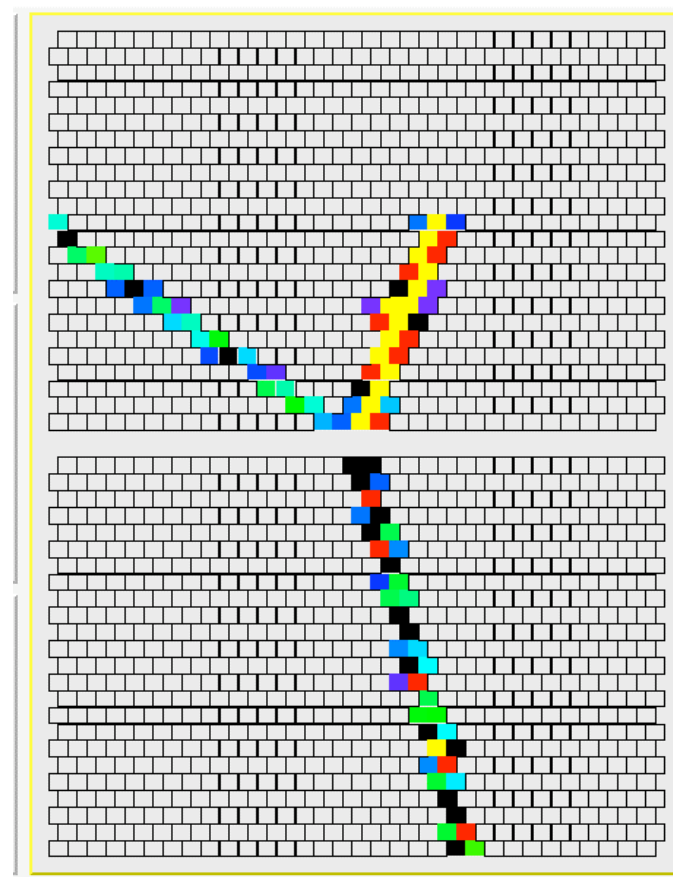
ECAL:
Pb/Scintillateur

FGD:
Barres de Scintil.
granularité fine



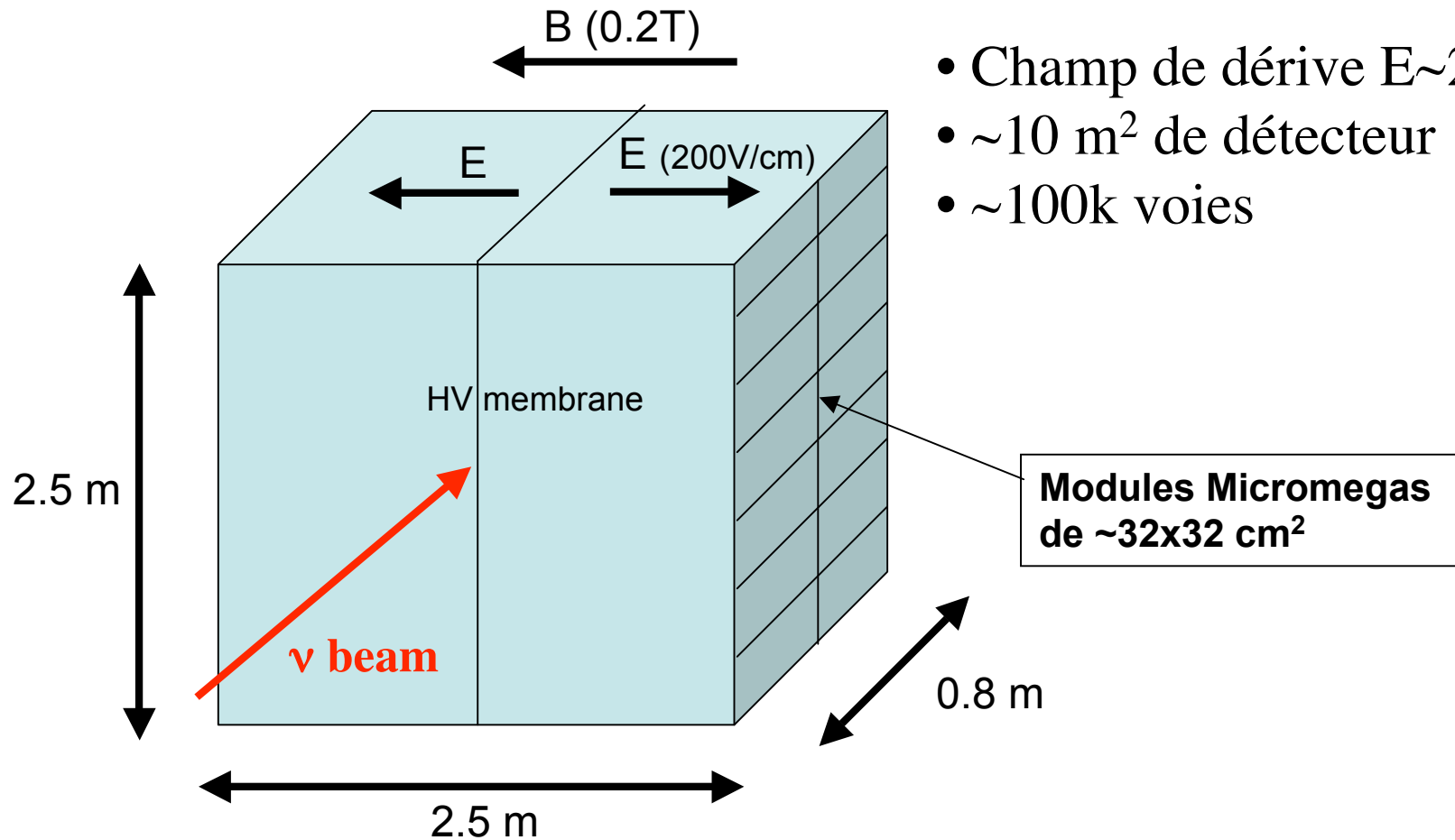
Pourquoi une TPC ?

- Excellente résolution ($\sim 500\mu\text{m}$)
 - Mesure du moment $\sigma < 10\%$ jusqu'à $\sim 1 \text{ GeV}/c$
 - Mesure du signe de la charge
- dE/dx pour l'identification $e-\mu$
- Bonus : quelques 10^3 interactions par an dans le gaz





Principe d'une TPC



- Champ de dérive $E \sim 200$ V/cm
- ~ 10 m² de détecteur
- ~ 100 k voies

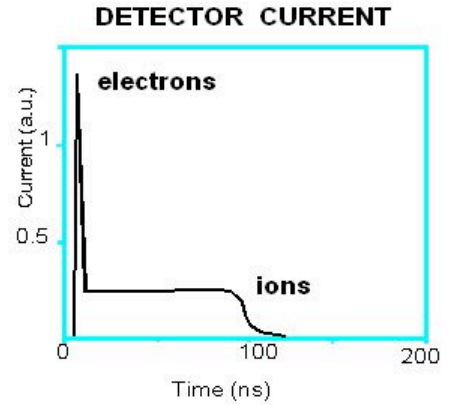
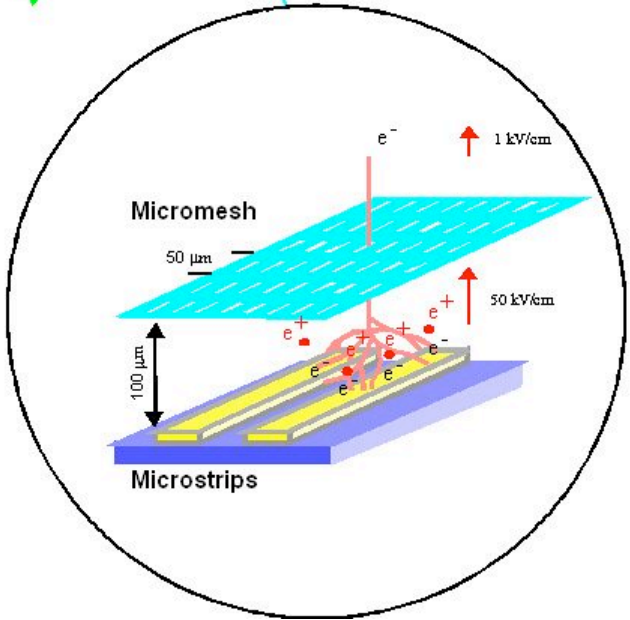
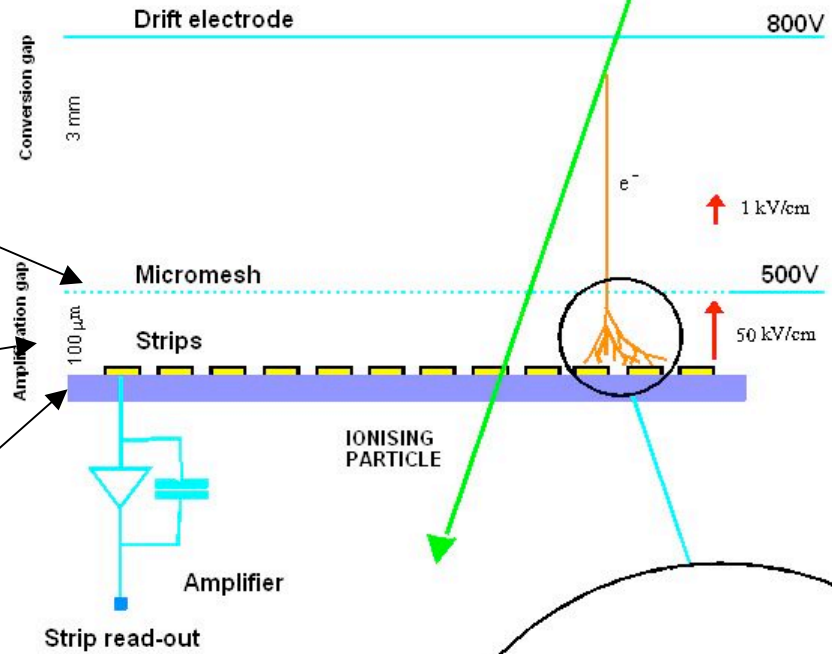


Concept de Micromegas

Micromesh

**Région d'amplification:
120 μ m, 40-70kV.cm⁻¹**

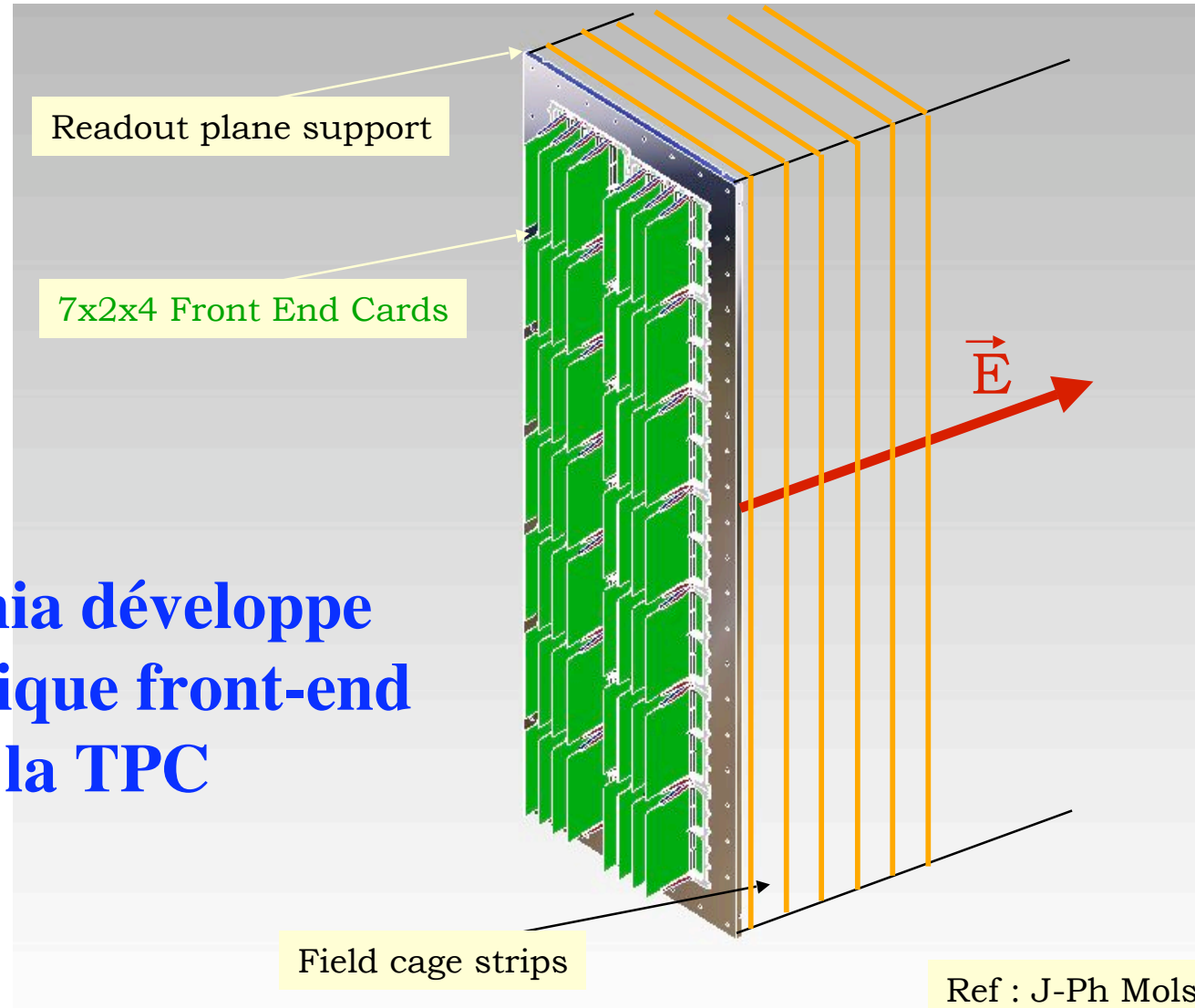
Anode : bandes, pads



A. Sarrat



Plan de Lecture d'une TPC



**Le Dapnia développe
l'électronique front-end
de la TPC**



2005: Année de R&D

Validation de Micromegas



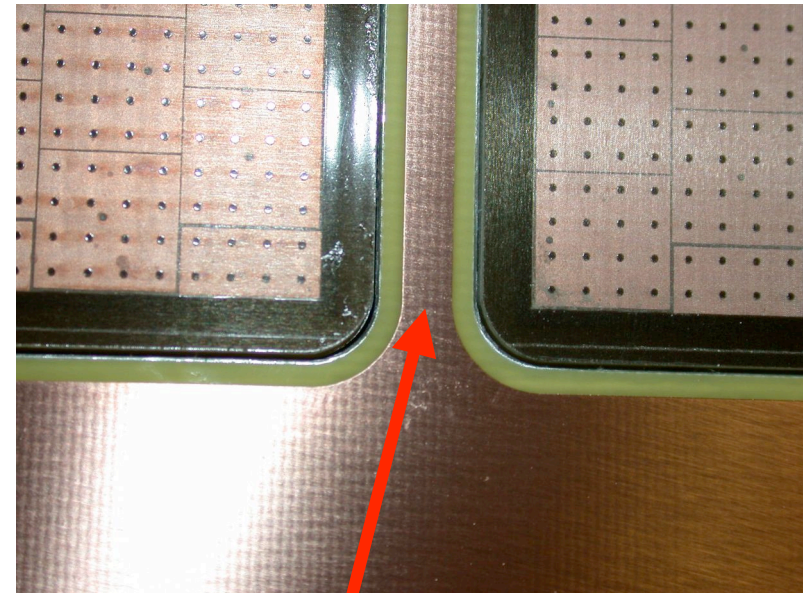
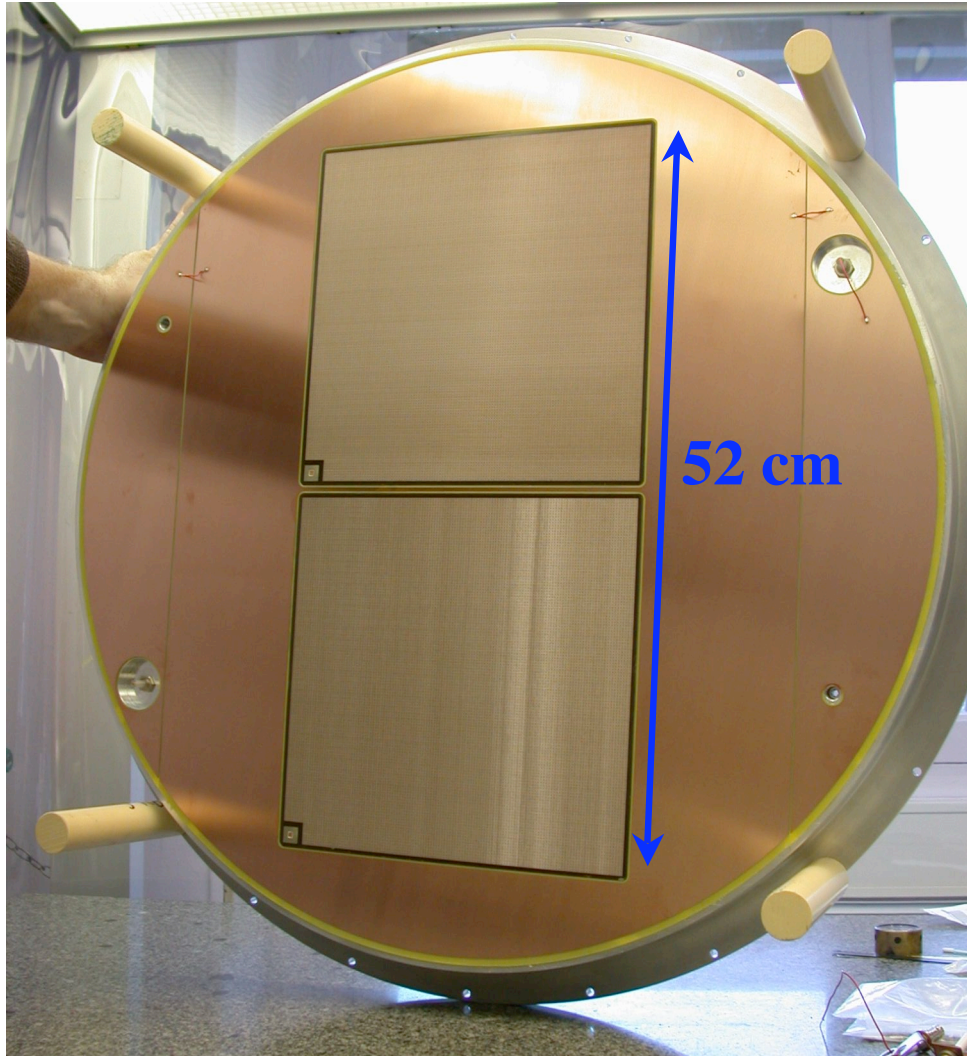
Test de Validation au CERN

- Utilisation de la cage de la TPC Harp pour prendre des données de μ cosmiques.
 - Validation de Micromegas pour T2K
 - Etude de résolution
 - Mise au point de logiciels de simulation et de reconstruction

Prise de données: 8 au 30 Novembre 2005, en collaboration avec le LPNHE, Barcelone (IFAE) et Genève (Université)



End-plate pour la TPC Harp



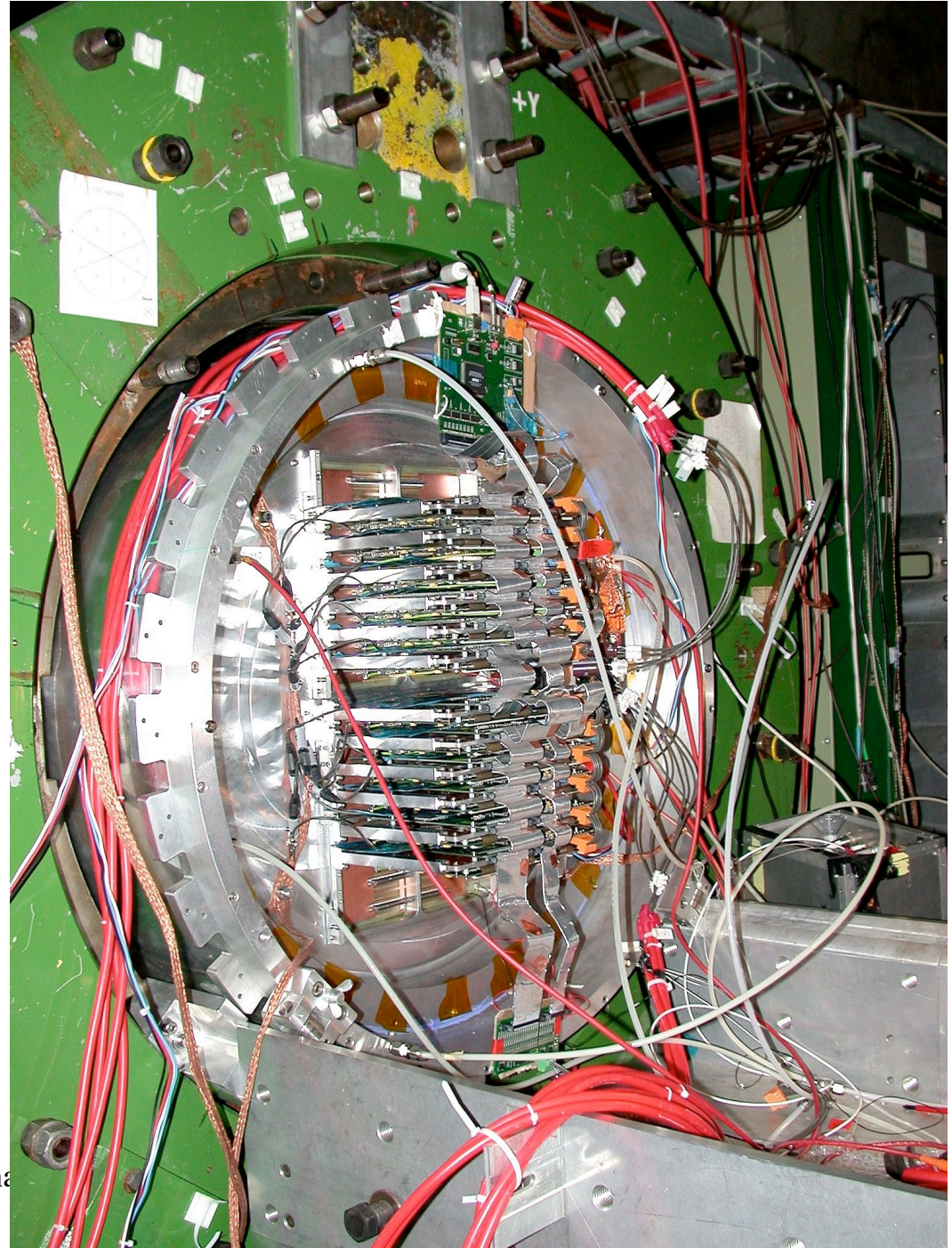
12mm d'espace inactif



End-plate Micromegas
montée et instrumentée
sur la cage de la TPC
HARP au CERN,
le 8 Novembre 2005

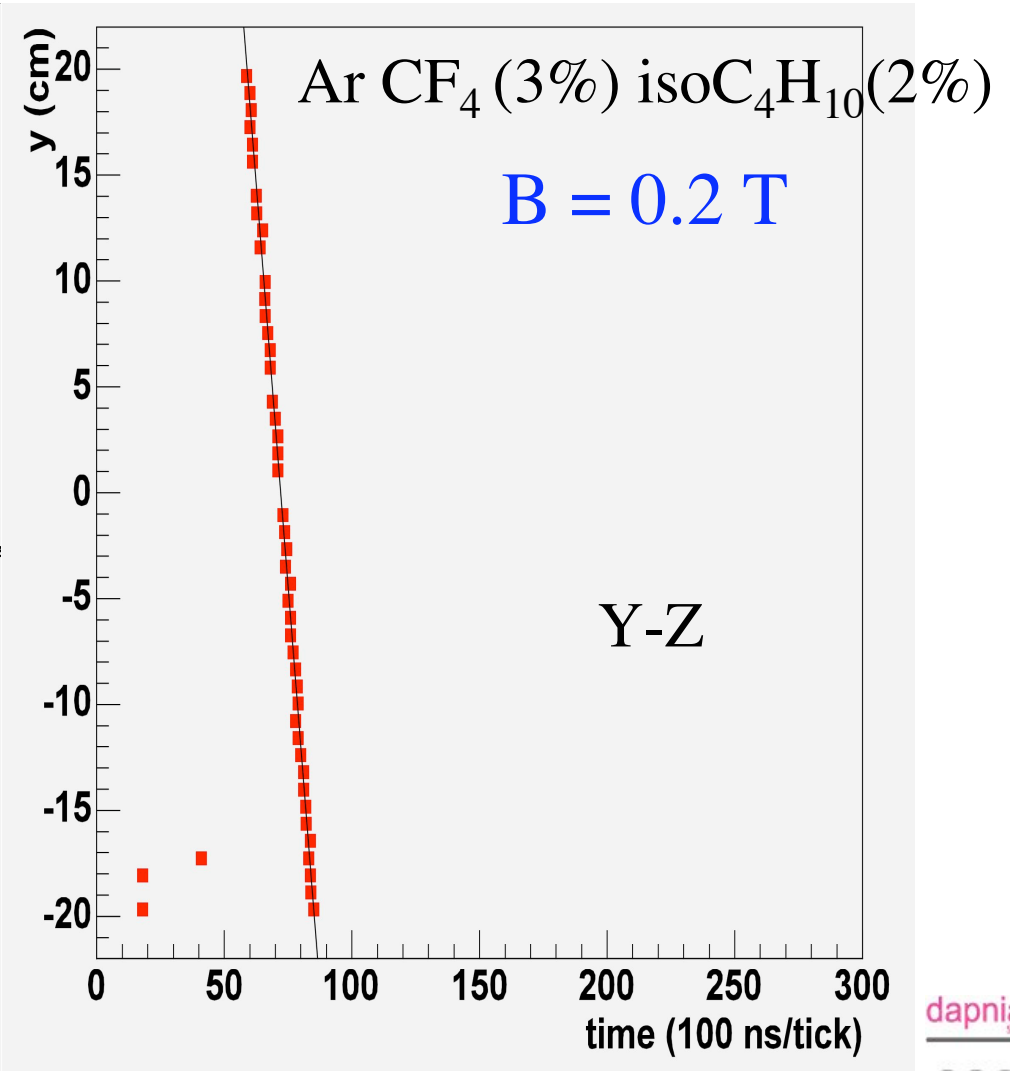
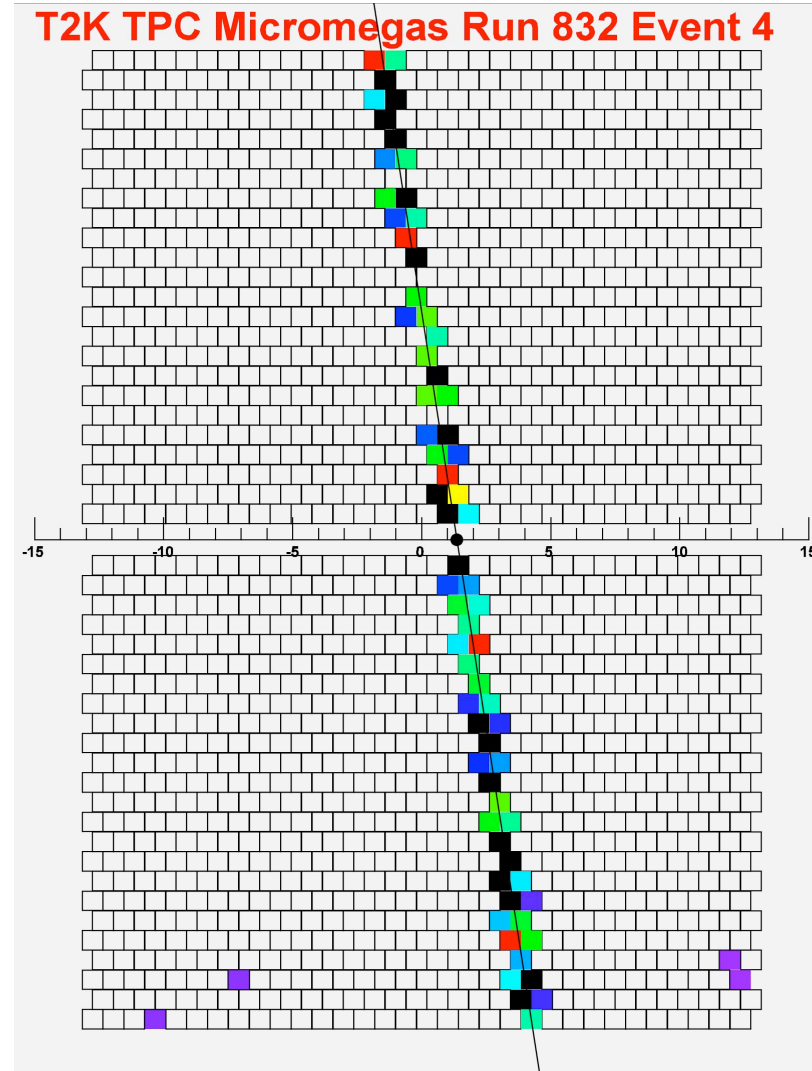
A. Sarrat

Séminaire





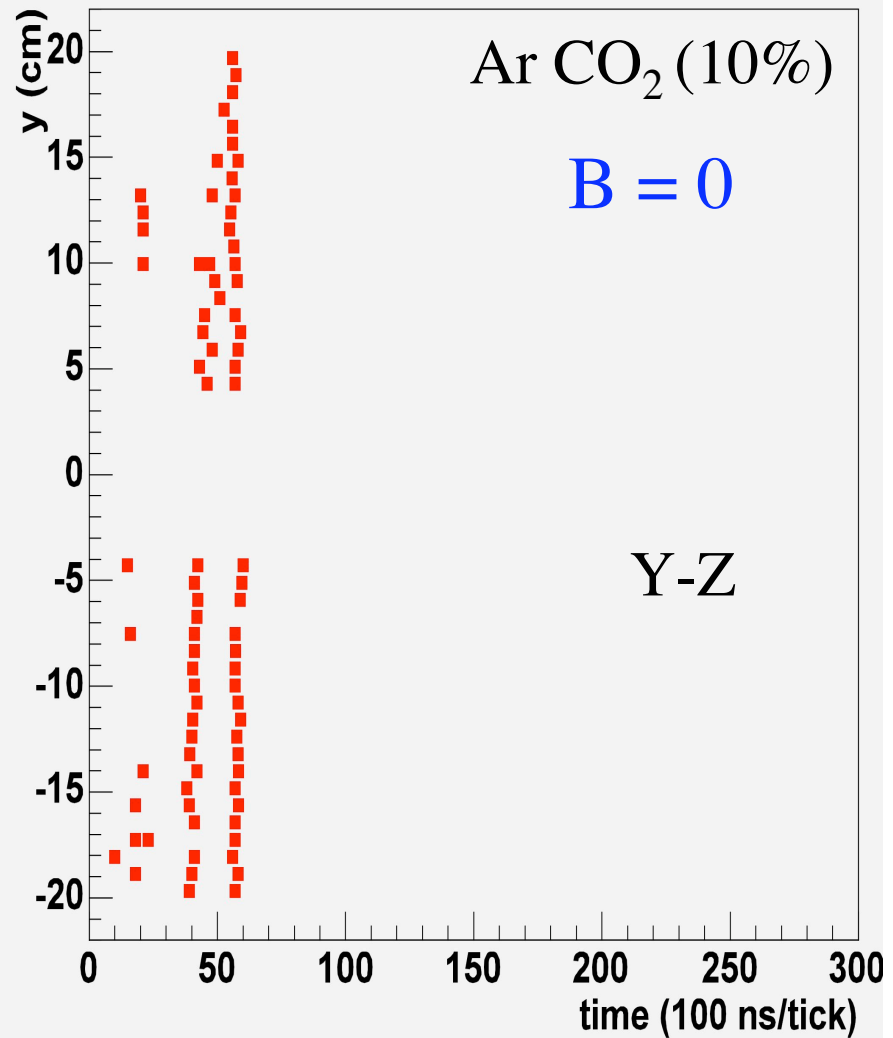
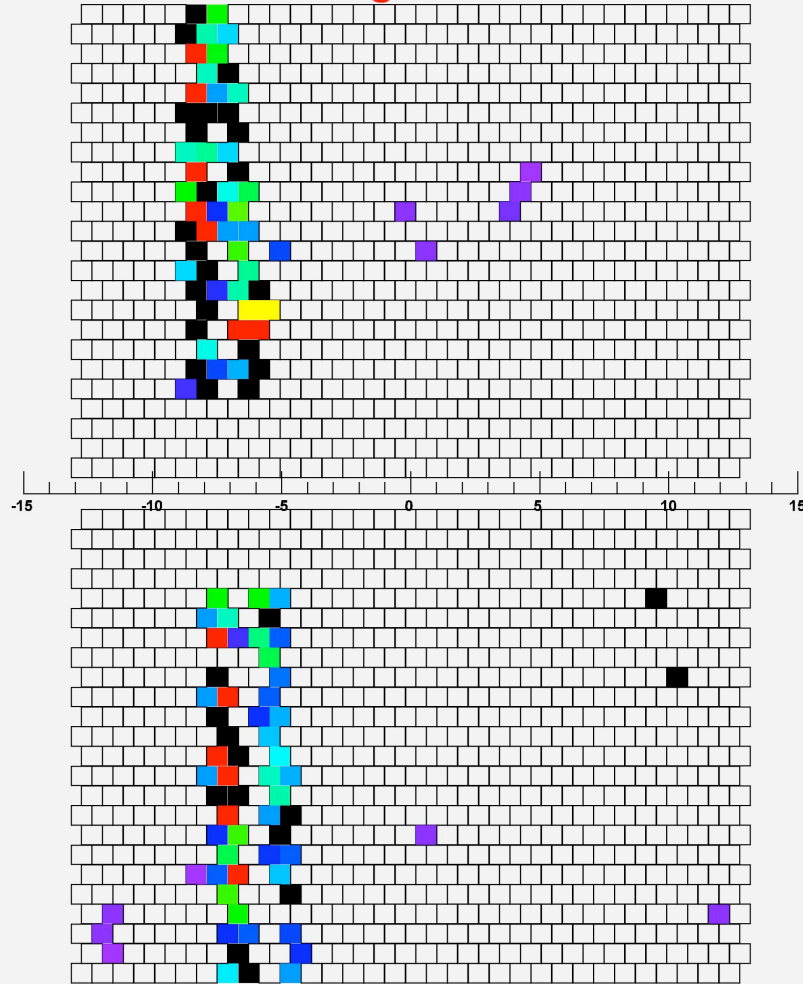
Trace Observée





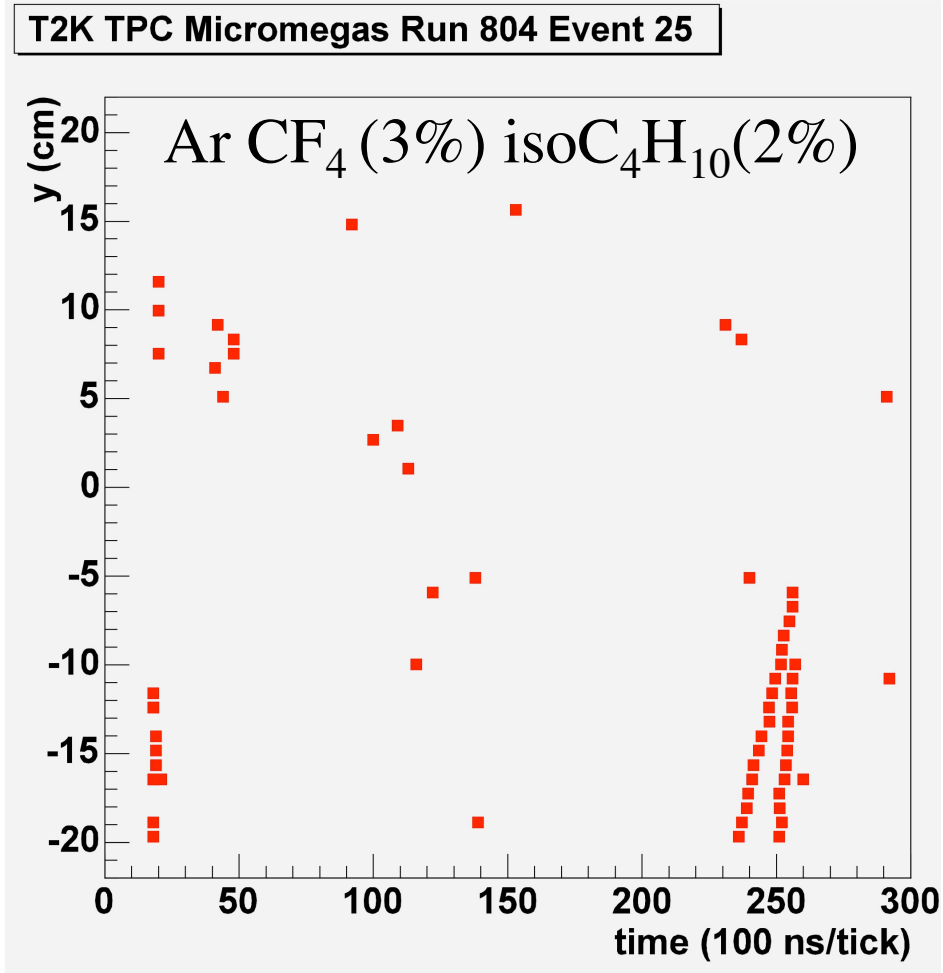
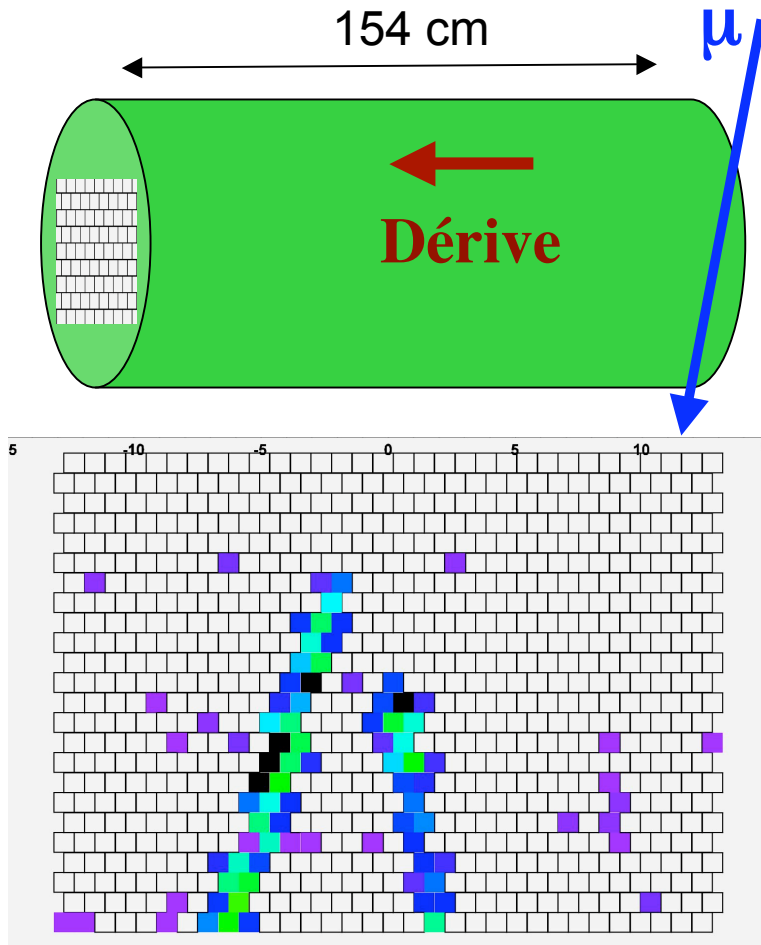
Trace Proches ($\sim 1\text{cm}$)

T2K TPC Micromegas Run 1111 Event 10





Mesure de la Vitesse de Dérive

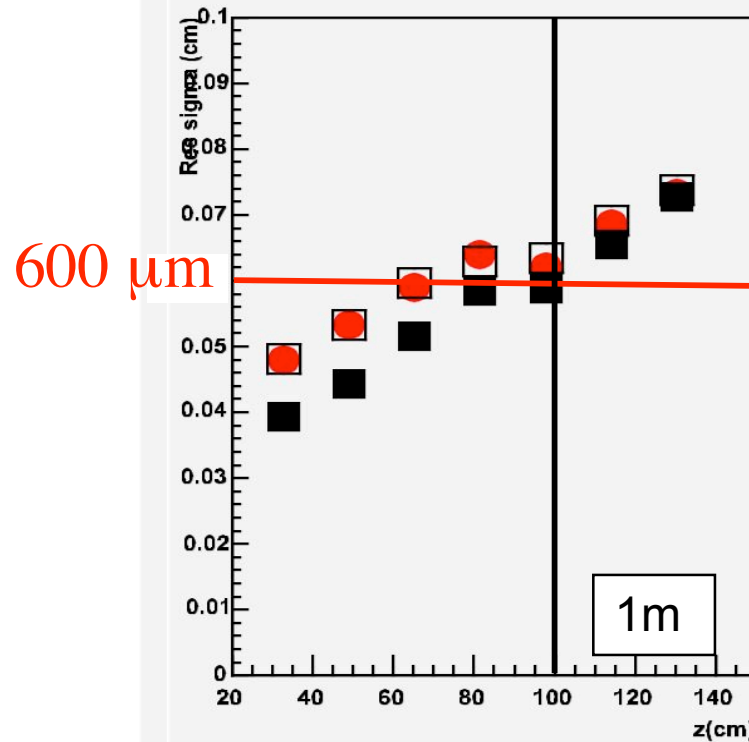


$$V_{\text{drift}} = 6.42 \pm 0.05 \text{ cm} \cdot \mu\text{s}^{-1} \quad (\text{Attendu: } 6.5 \text{ cm} \cdot \mu\text{s}^{-1})$$

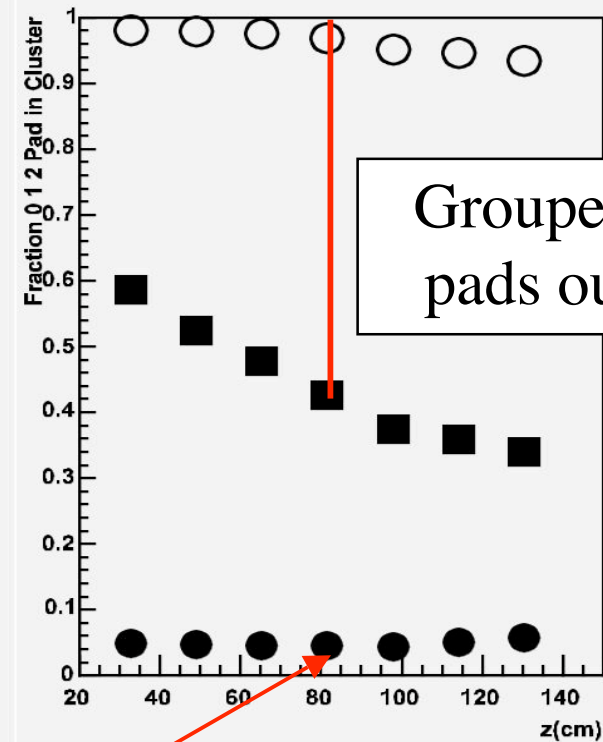


Etude de Résolution

Résolution vs z (cm)



Fraction cumulative de rangées sans hit ou ayant 1, 2, 3 pads ou plus de touchés



Groupes de 2 pads ou plus

Inefficacité totale $\approx 5\%$
incluant électronique, analyse



Conclusion du Test

- La technologie Micromegas répond aux besoins de l'expérience T2K.

Micromegas était en concurrence avec une autre technologie: GEM.

- La collaboration T2K a fait le choix en Mai 2006
---> **Micromegas**

**Rôle moteur du Dapnia dans la
conception et la réalisation du détecteur**

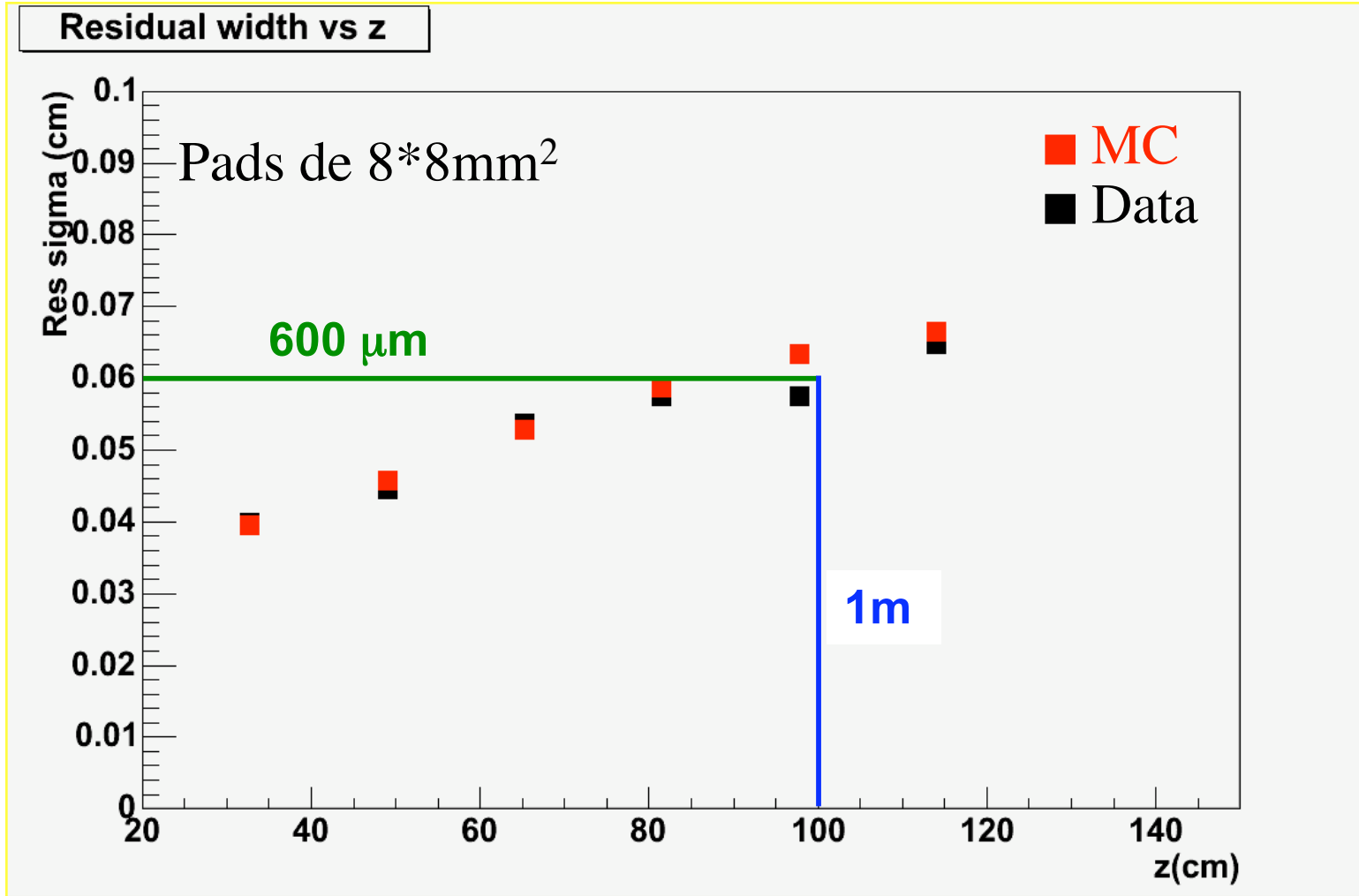


Simulation de TPC

- Simulation complète de traces (μ) dans la TPC, basée sur GEANT4, incluant:
 - Simulation du gaz et de la dérive
(ionisation et diffusion)
 - Simulation des détecteurs Micromegas
(fluctuations du gain)
 - Simulation de l'électronique
(mise en forme du signal)



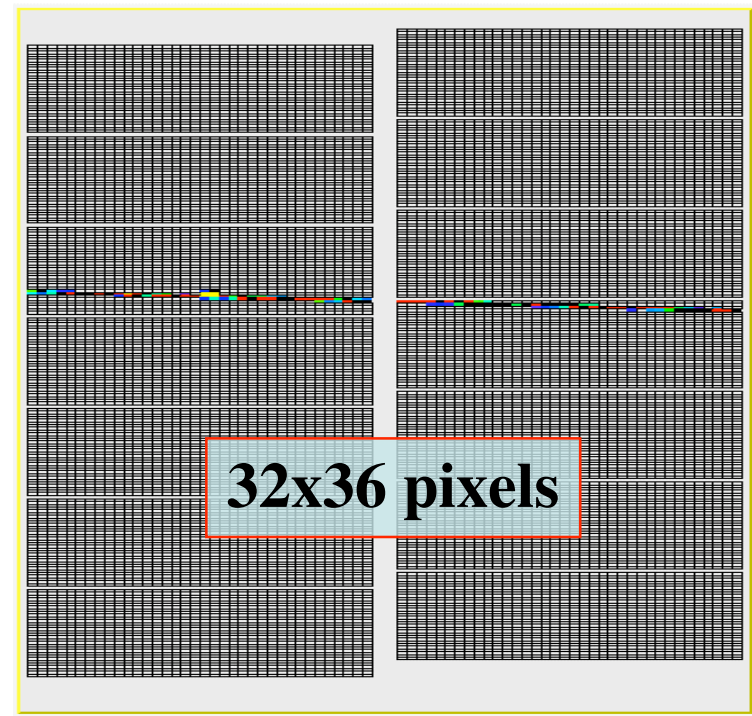
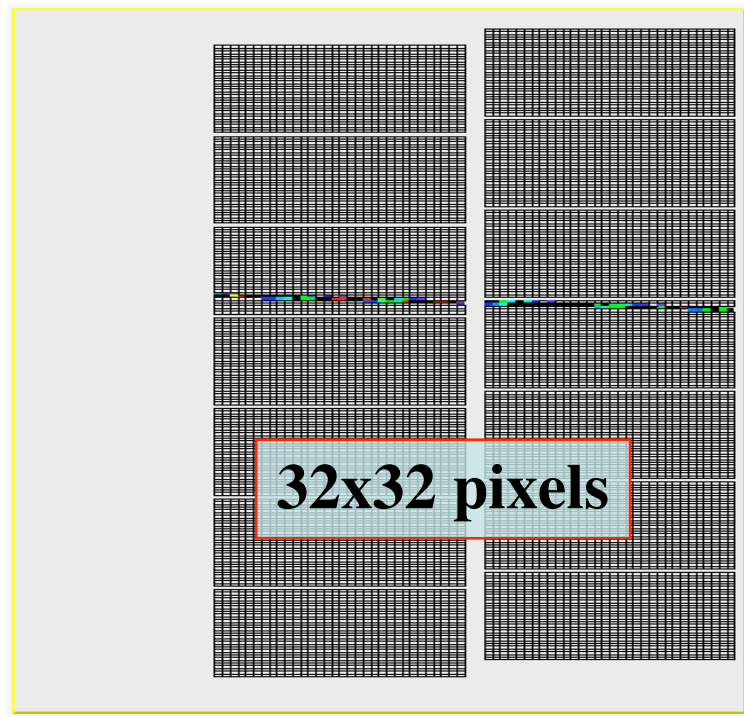
Resolution vs Z





Optimisation de la TPC

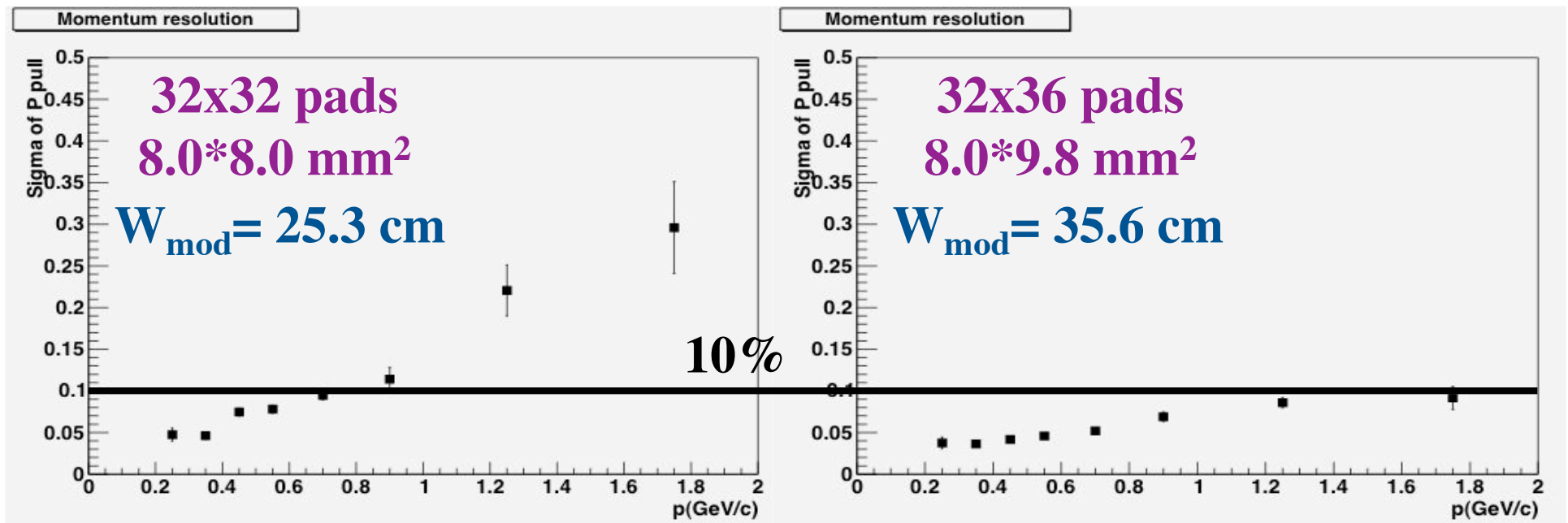
- Etude de la résolution sur le moment en fonction de la taille des pads/modules.





Résolution sur le Moment

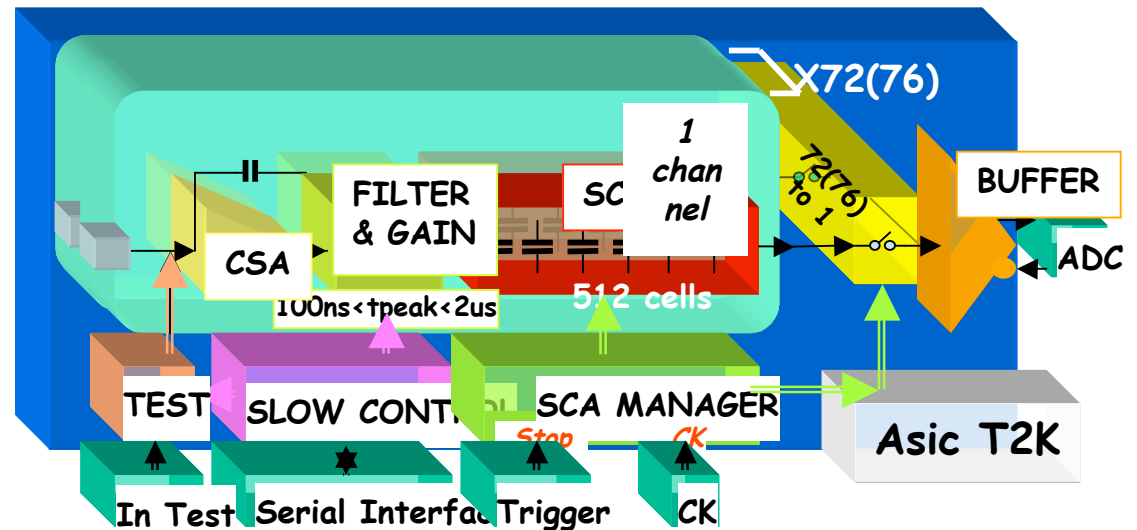
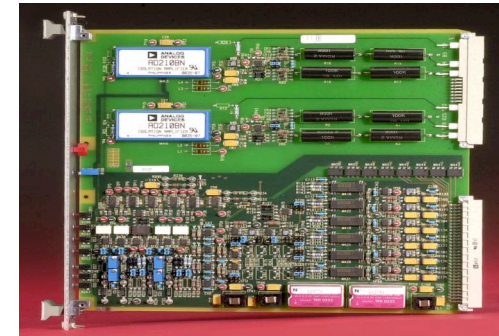
Résolution nécessaire: $\delta p/p < 10\%$ à 1 GeV/c





Forte Implication du Dapnia

- SIS: Système de protection des aimants (quench) de la ligne de faisceau
- SIS Bureau d'étude: mécanique et intégration.
- SEDI Electronique:
 - chip ASIC basé sur SCA (1^{er} prototype Avril 2006)
 - carte front-end
 - carte mezzanine
- SEDI Détecteurs: Design et réalisation des Micromégas





Conclusion

- T2K: projet ambitieux avec un objectif scientifique majeur, la mesure de θ_{13} .
- **Choix de Micromegas par la collaboration T2K**
- Implication très forte du Dapnia
 - Micromegas
 - Electronique
 - Détecteur de quench

Rendez-vous en 2009



Backup



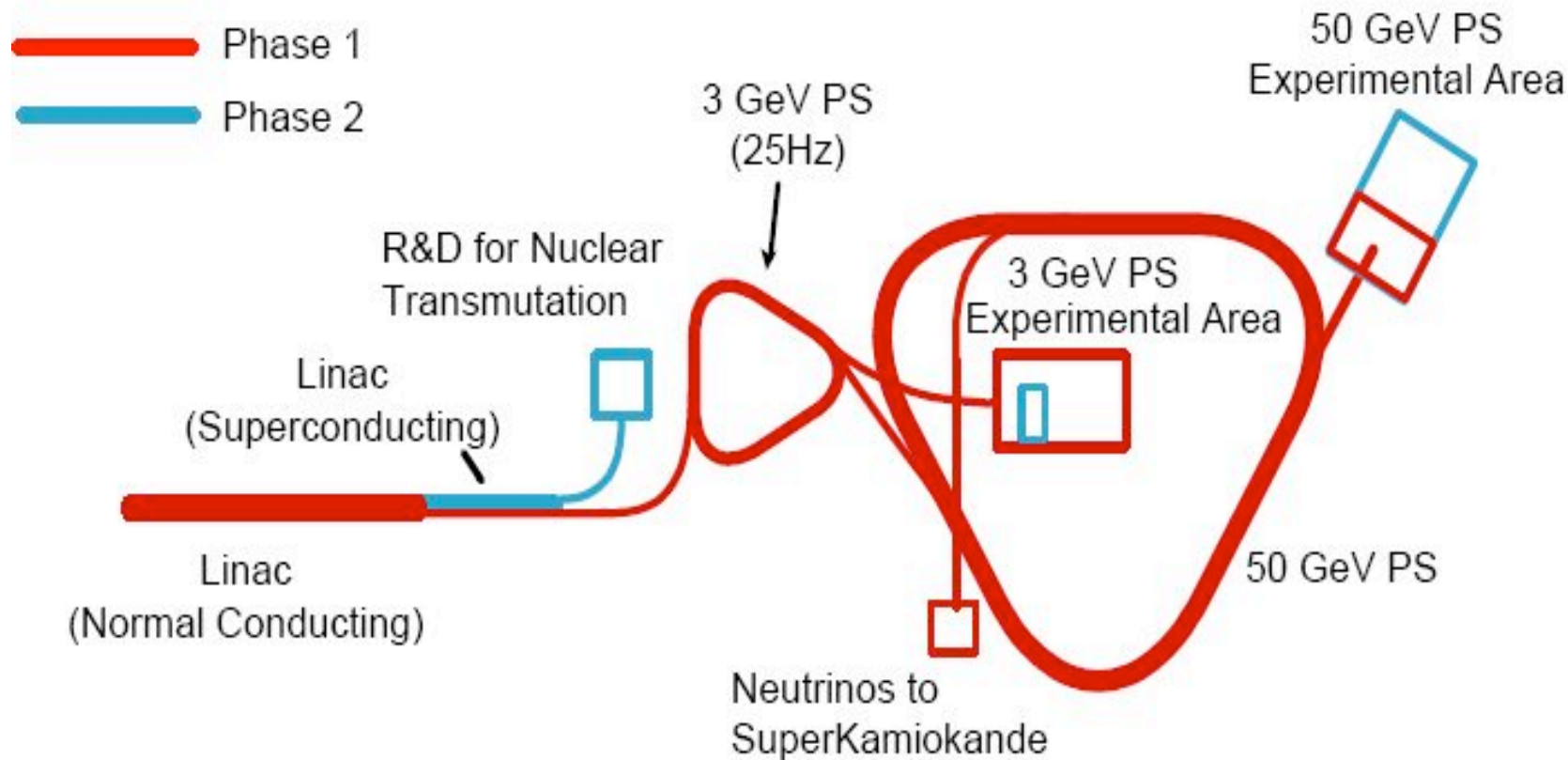
The J-PARC facility at Tokai

50 GeV PS : Budget 1.5 G\$ over 7 years

Neutrino beam line : 160 M\$

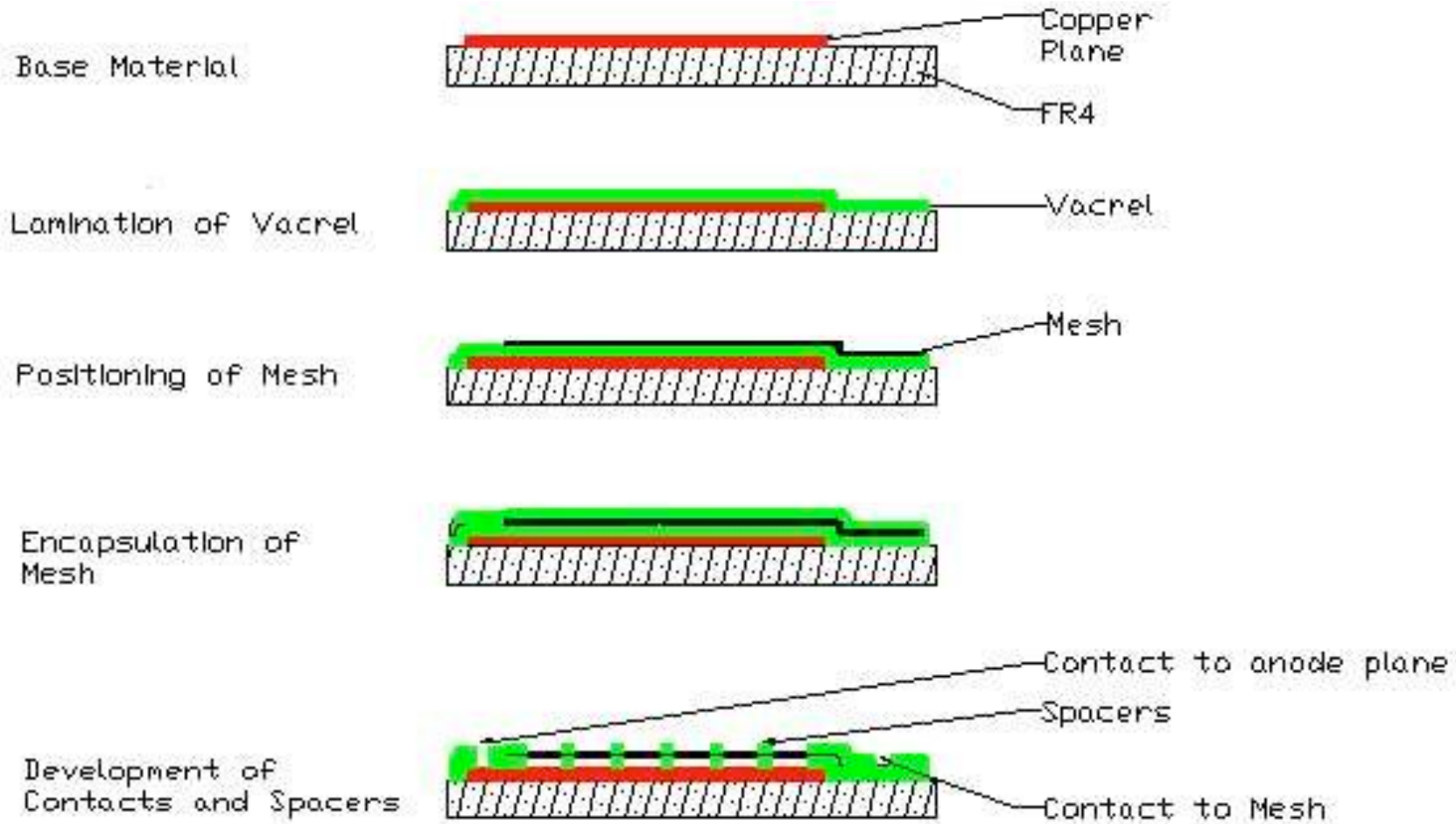
Site 60km NE of KEK

10^{21} POT (130 days) = 1year



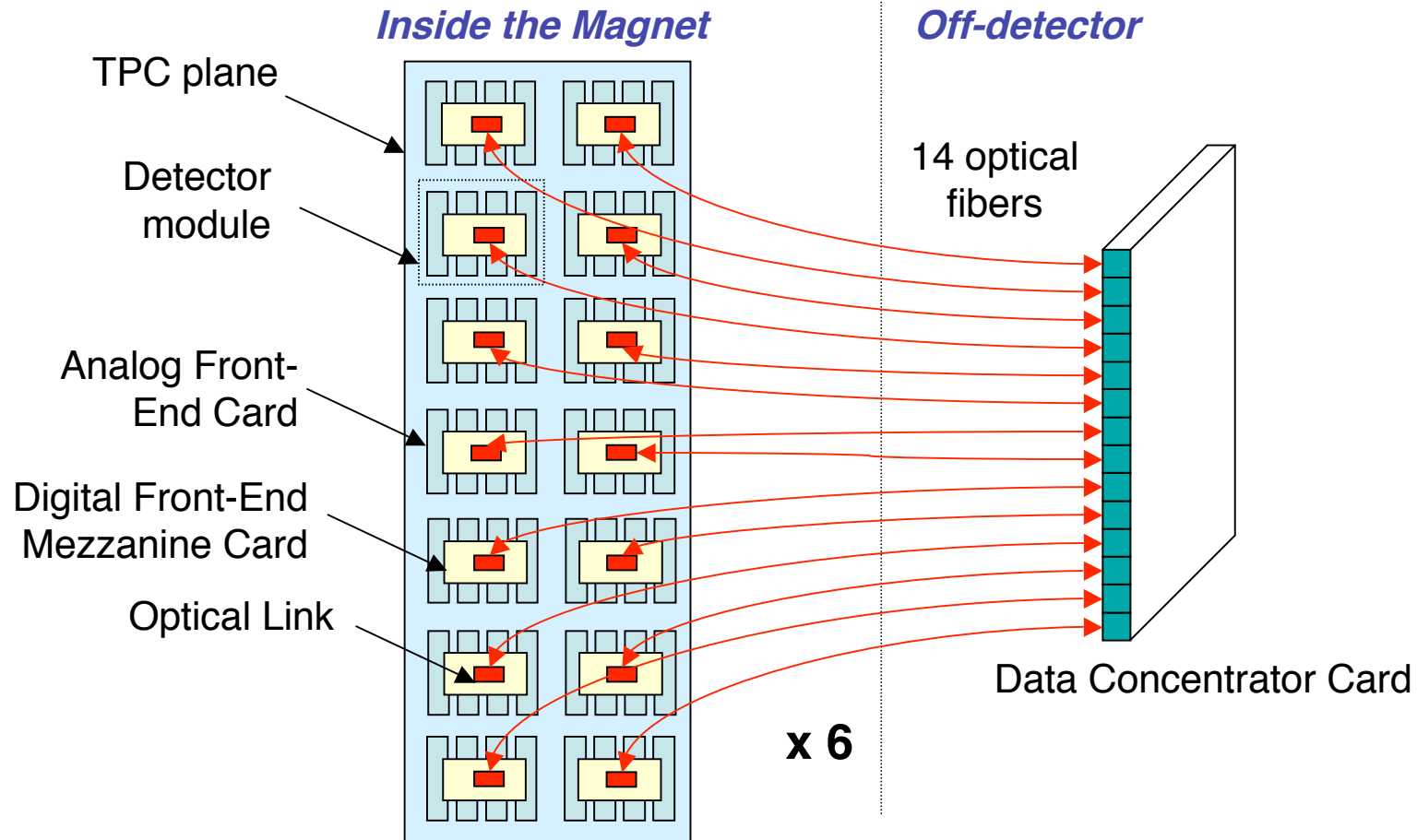


« Bulk » Micromegas





TPC Readout Architecture



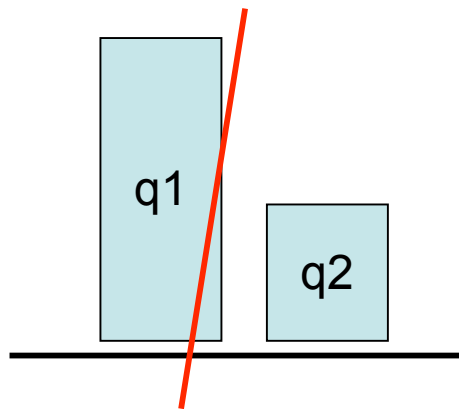
- 1 of 6 TPC planes shown – 3 TPC stations – ~85.000 pads 8 x 8 mm
- 7 x 2 detector modules per TPC plane – 84 modules in total
- 1 optical readout fiber per detector module
- 1 external data concentrator per TPC plane – 6 concentrators in total

40



Algorithmes de Reconstruction

- Build clusters in each row : adjacent pads close in time
- Track finder : full length across the two modules, based on a road from seeds in the top-bottom rows
- Track fitting : χ^2 fit in the two projections (x-y, y-t)
- Crucial ingredient : how to compute the position for a **cluster with two pads hit**



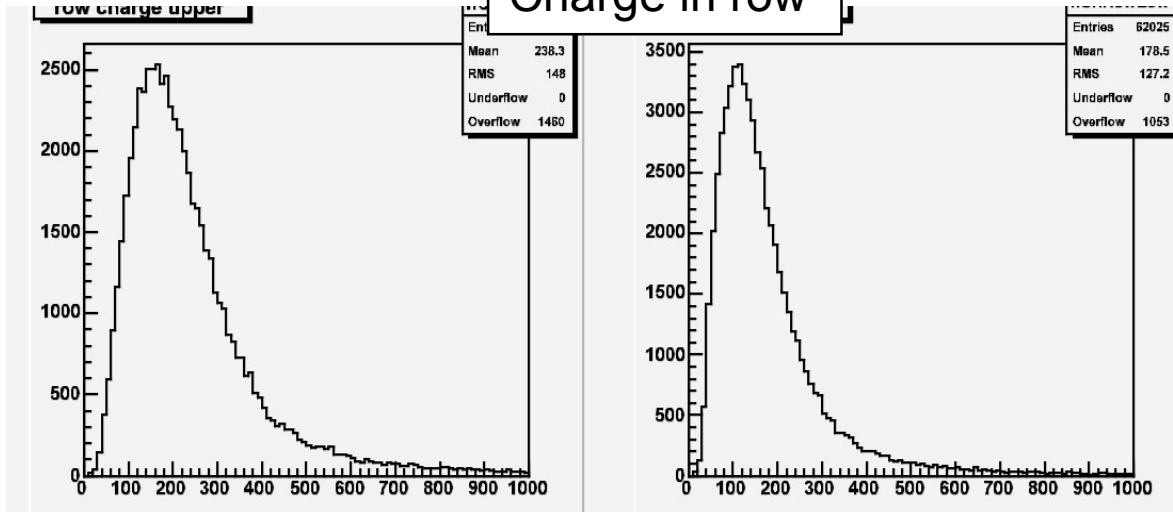
The charges q_1 and q_2 can be computed from the integral of the track width S_T over the pad boundaries
Relation between $r=q_1/(q_1+q_2)$, S_T and the track position x

r measured, S_T from Magboltz \rightarrow measure x for two pads clusters (numerical method)



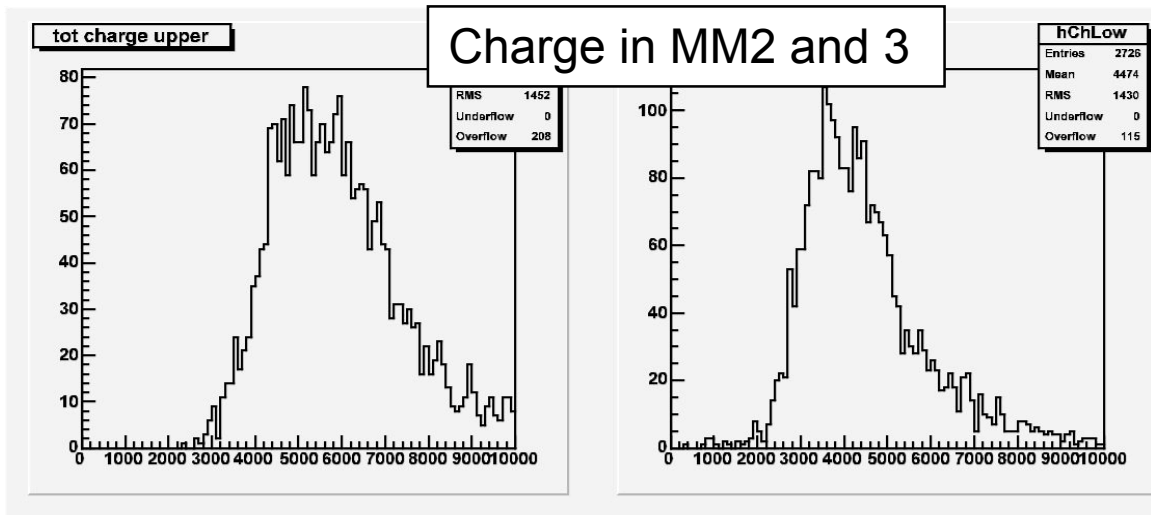
First look at dE/dx

Charge in row

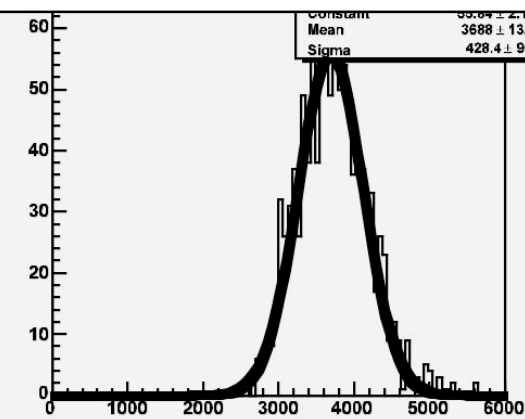


No momentum correction yet !

Charge in MM2 and 3

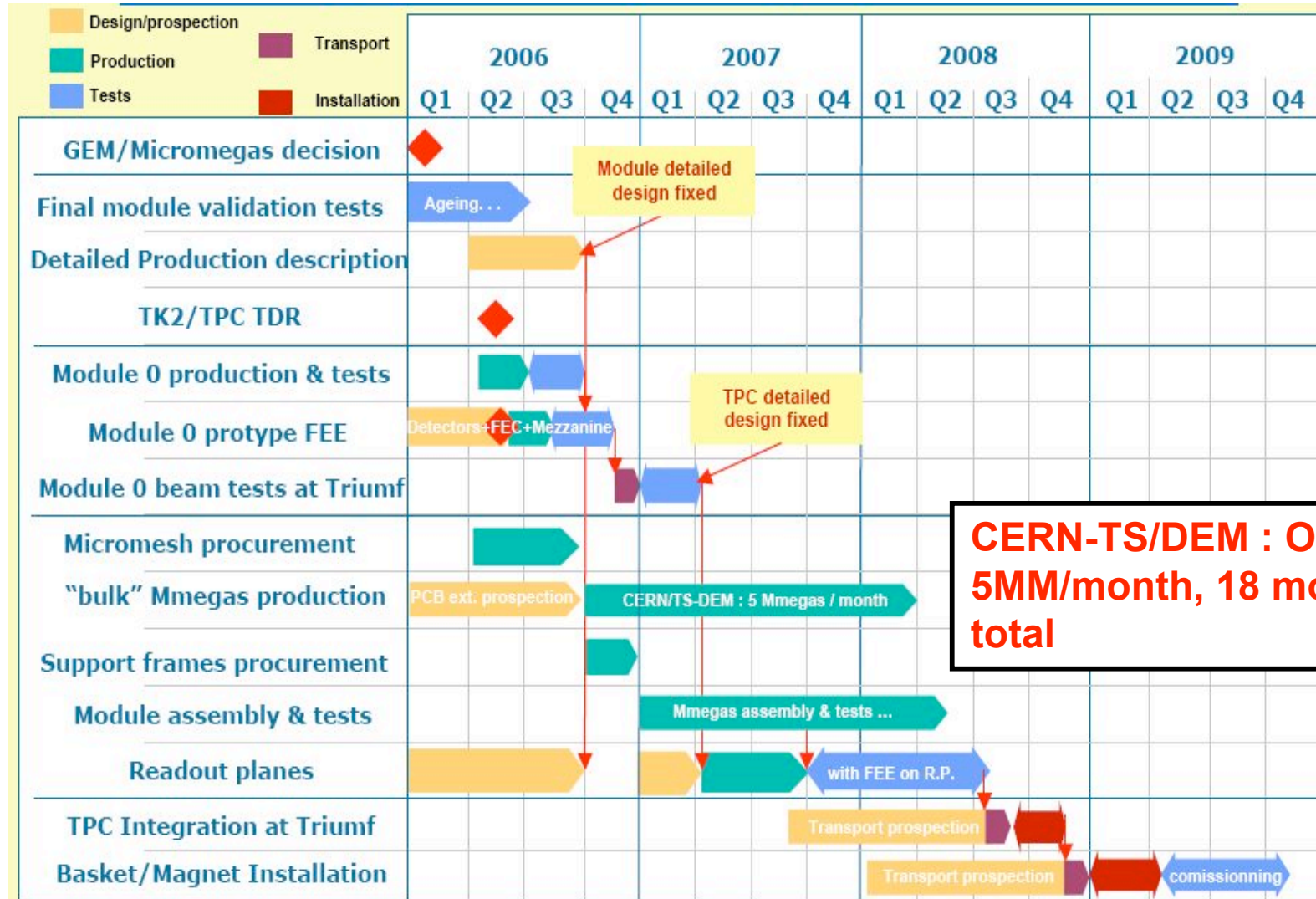


80% truncated mean
 $\sigma=11.6\%$





Micromegas production



CERN-TS/DEM : OK for 5MM/month, 18 months total