

# WATER Grid And SCIntillator (WAGASCI)

Conseil Scientifique du LLR

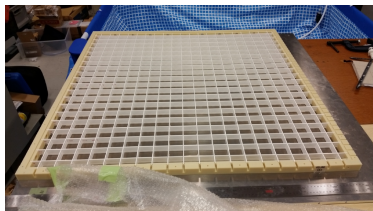
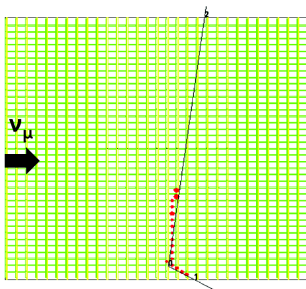
Thomas Mueller  
pour le groupe T2K-HK-JUNO

Laboratoire Leprince-Ringuet

23 septembre 2015

# Un peu de culture...

Détecteur  $H_2O/CH$   
(grille tri-dimensionnelle)



Wagashi =  
pâtisseries japonaise



“wa” = japonais  
“kashi” = sucrerie, gâteau

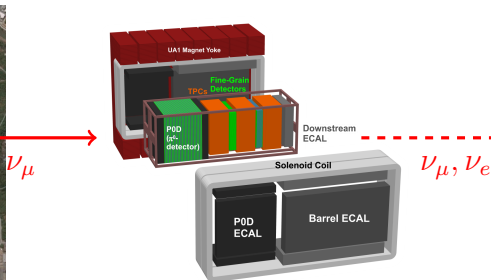
和菓子

- 1 Motivations
- 2 Le projet WAGASCI
- 3 Contributions du LLR
- 4 Besoins à venir

# L'expérience T2K (Tokai to Kamioka)

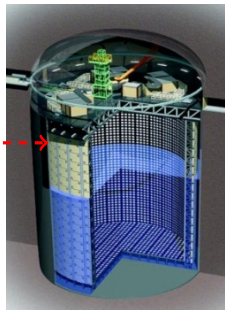


J-PARC  $\nu_\mu$  beam



ND280  
target : CH  
acceptance : forward

$\neq$



Super-Kamiokande  
target : H<sub>2</sub>O  
acceptance :  $4\pi$

différence de matériaux cibles (H<sub>2</sub>O/CH) + différences d'acceptance  
⇒ non-compensation des erreurs systématiques dues aux sections efficaces  
d'interaction des neutrinos

## Erreurs systématiques sur le nombre d'événements attendus à SK

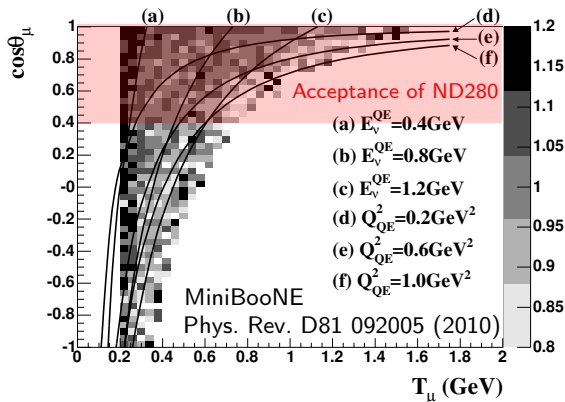
- Erreur relative sur le nombre d'événements attendus à Super-Kamiokande (Run 1-4) :

		$\nu_\mu$ sample	$\nu_e$ sample
$\nu$ flux and cross section	w/o ND measurement	21.8%	26.0%
	w/ ND measurement	2.7%	3.1%
$\nu$ cross section due to difference of nuclear target btw. near and far		5.0%	4.7%
Final or Secondary Hadronic Interactions		3.0%	2.4%
Super-K detector		4.0%	2.7%
Total	w/o ND measurement	23.5%	26.8%
	w/ ND measurement	7.7%	6.8%

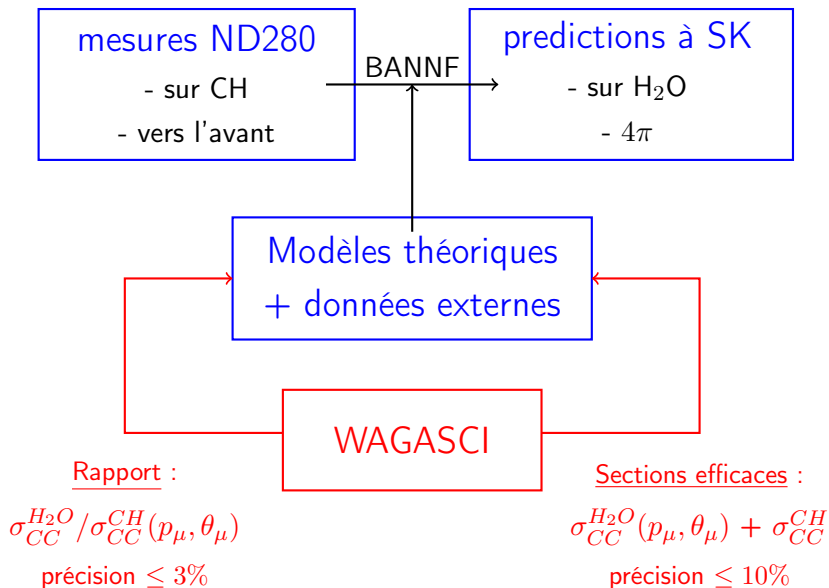
But de WAGASCI : réduire les erreurs systématiques dues à la différence de matériaux cibles (en rouge) à un niveau  $\leq 3\%$

## Effet de la différence d'acceptance

- ND280 : détection des  $\mu$  produits vers l'avant pour prédire le spectre en énergie des  $\mu$  à SK  $\Rightarrow$  nécessité d'utiliser des modèles théoriques + données externes



But de WAGASCI : mesurer  $\sigma_{CC}$  inclusives sur CH et surtout sur  $\text{H}_2\text{O}$  (double différentielle) à une précision  $\leq 10\%$   $\Rightarrow$  confirmer/améliorer les modèles théoriques

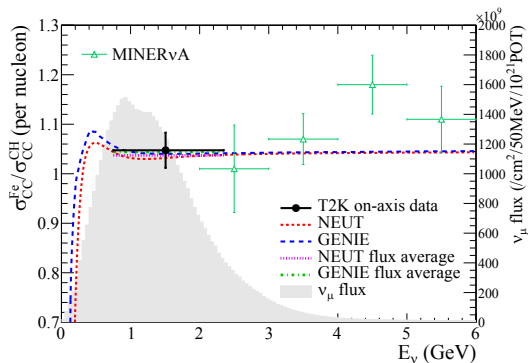
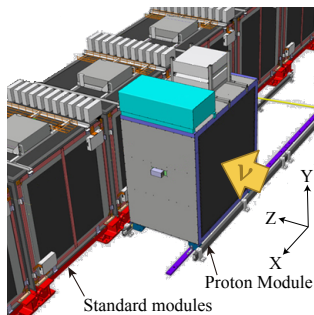


# Mesure du rapport des sections efficaces $\nu_\mu$ CC inclusives Fe/CH @ T2K

- L'expérience T2K a mesuré le rapport des sections efficaces Fe/CH avec une incertitude de 3% [Phys. Rev. D90 (2014) 24, 241803]

$$\frac{\sigma_{CC}^{Fe}}{\sigma_{CC}^{CH}} = 1.047 \pm 0.007(stat.) \pm 0.035(syst.)$$

- Mesure relative entre 2 détecteurs : INGRID (Fe) et Module Proton (CH) "sur-axe"  
 $\langle E_\nu \rangle = 1.51 \text{ GeV} \Rightarrow$  suppression des erreurs systématiques dues au flux



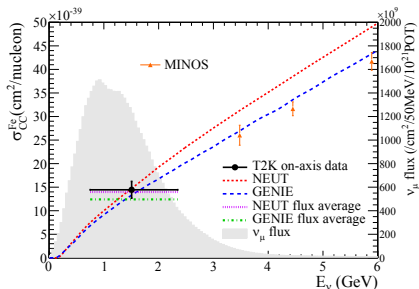


# Mesure des sections efficaces $\nu_\mu$ CC inclusives @ T2K

- Mesuré des sections efficaces  $\sigma_{CC}^{Fe}$  et  $\sigma_{CC}^{CH}$  avec une incertitude de l'ordre de 10%
- Mesures "sur-axe",  $\langle E_{\nu_\mu} \rangle = 1.51$  GeV avec INGRID (Fe) & Module Proton (CH)

$$\sigma_{CC}^{Fe} = (1.444 \pm 0.002(stat.)^{+0.189}_{-0.157}(syst.)) \times 10^{-38} \text{ cm}^2/\text{nucleon}$$

$$\sigma_{CC}^{CH} = (1.379 \pm 0.007(stat.)^{+0.178}_{-0.147}(syst.)) \times 10^{-38} \text{ cm}^2/\text{nucleon}$$



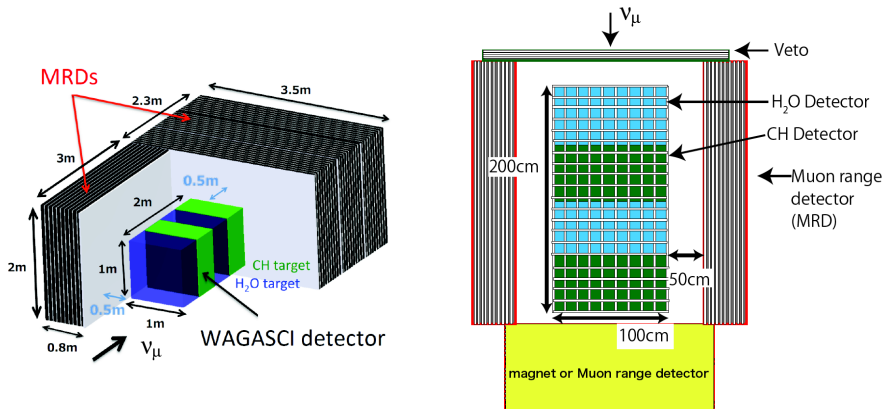
- Sections efficaces double différentielles = thèse B. Quilain  $\Rightarrow$  publication à venir

- 1 Motivations
- 2 Le projet WAGASCI
- 3 Contributions du LLR
- 4 Besoins à venir

# La collaboration WAGASCI (8 instituts, 42 collaborateurs)

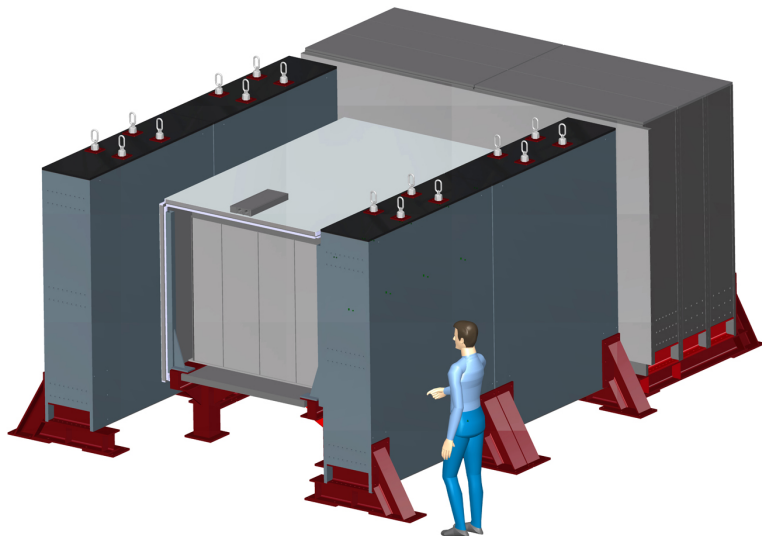
- Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Science, Moscow Russia  
I. Ayzenberg, A. Izmaylov, I. Karpikov, M. Khabibullin, A. Khotjentsjev, Y. Kudenko, S. Martynenko, A. Mefodiev, O. Mineev, T. Ovsjannikova, S. Suvorov, N. Yershov
- High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Tsukuba, Ibaraki, Japan  
T. Ishida, T. Kobayashi
- Kyoto University, Department of Physics, Kyoto, Japan  
T. Hayashino, A. K. Ichikawa, A. Minamino, K. Nakamura, T. Nakaya, B. Quilain, K. Yoshida
- Ecole Polytechnique, IN2P3-CNRS, Laboratoire Leprince-Ringuet, Palaiseau, France  
A. Bonnemaison, R. Cornat, O. Drapier, O. Ferreira, F. Gastaldi, M. Gonin, J. Imber, M. Licciardi, Th. A. Mueller
- Osaka City University, Department of Physics, Osaka, Japan  
K. Kim, Y. Seiya, K. Wakamatsu, K. Yamamoto
- University of Geneva, Section de Physique, DPNC, Geneva, Switzerland  
A. Blondel, E. N. Messomo, M. Rayner
- University of Tokyo, Departement of Physics, Tokyo, Japan  
N. Chikuma, F. Hosomi, T. Koga, M. Yokoyama
- University of Tokyo, Institute for Cosmic Ray Research, Kamioka Observatory, Kamioka, Japan  
Y. Hayato

# Le détecteur WAGASCI : principe général



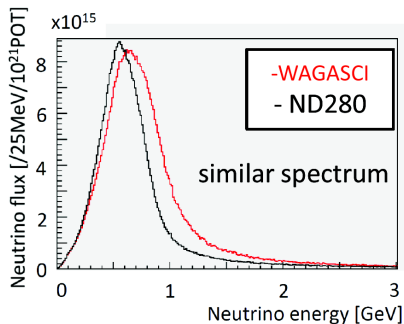
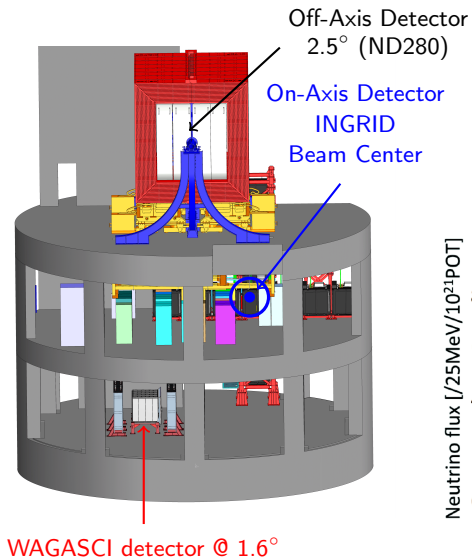
- Module central : matériaux cibles + plastique scintillant  $\Rightarrow$  tracker
- MRDs (Muon Range Detector) : fer + plastique scintillant  $\Rightarrow$  calorimètre à muons
- Pour le “downstream” MRD : possibilité d'utiliser le prototype Baby-MIND (CERN) acier magnétisé

# Le détecteur WAGASCI : vue 3D

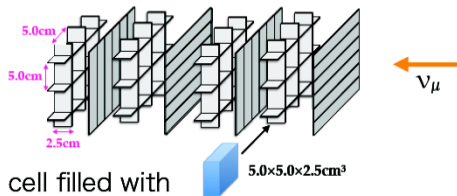


Design : A. Bonnemaïson / O. Ferreira (LLR)

# Localisation du détecteur

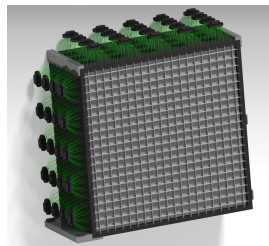
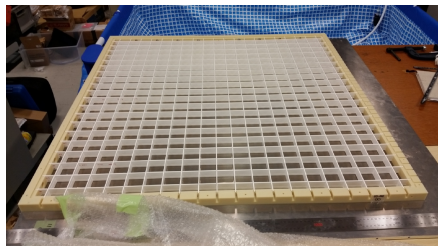


# Structure interne du détecteur - La grille 3D (1)



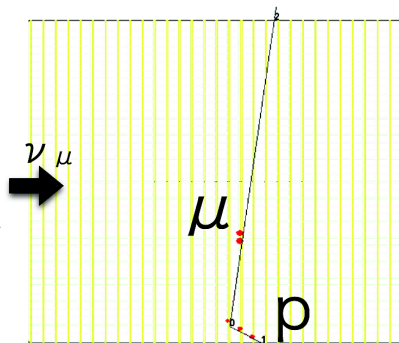
Each cell filled with  
water or hydrocarbon

$$\begin{aligned} 1 \text{ sous module (H}_2\text{O ou CH)} &= ( 40\text{Ch Y} + 40 \text{ Ch 3D} + 40\text{Ch X} + 40 \text{ Ch 3D} ) \times 8 \\ &= 160\text{Ch} \times 8 = 1280\text{Ch} \end{aligned}$$

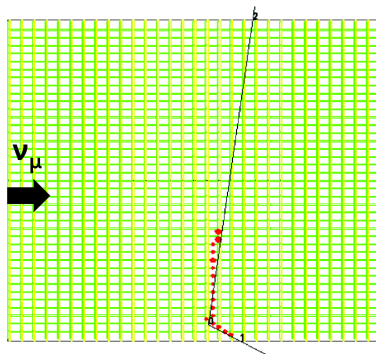


## Structure interne du détecteur - La grille 3D (2)

“Event display” d'un événement Monte-Carlo  $\nu_\mu + n \rightarrow \mu + p$  dans WAGASCI  
(vue du dessus)



sans la grille



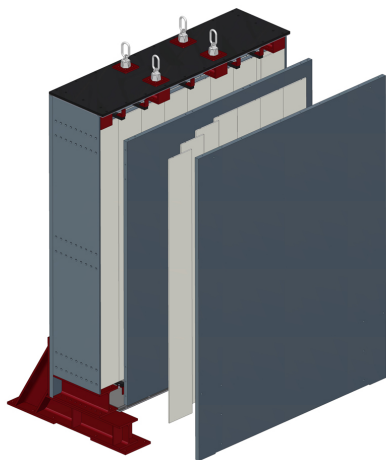
avec la grille

Pour reconstruire une trace, un certain nombre de plans de scintillateur doivent être touchés. La grille 3D permet donc d'augmenter l'acceptance du détecteur notamment pour la reconstruction de traces avec  $\theta \sim 90^\circ$



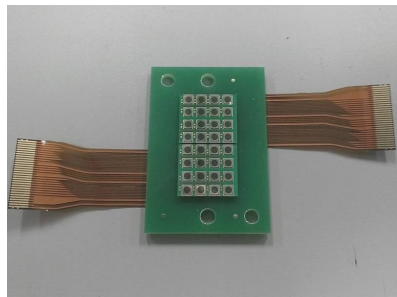
# Les side Muon Range Detector (sMRD)

- Alternance de couches de scintillateurs ( $7 \times 200 \times 2000 \text{ mm}^3$ )  
+ plaques Fe (3 cm épaisseur)  
⇒ détecteur "à la INGRID"
- But : mesurer l'énergie des muons  $\leq 1 \text{ GeV}$  avec résolution suffisante
- Optimisation du design en cours par études MC (nombre/épaisseur des plaques Fe) ⇒ B. Quilain / T. Mueller (+ M. Licciardi)
- Stage M1 O. Volcy ( $\sim 4$  mois)
- Design final nécessaire pour le début 2016



# Les MPPC (Multi Pixel Photon Counter)

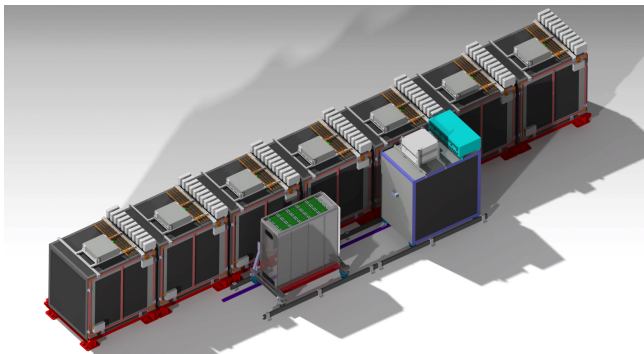
- Nouveau MPPC développé par Hamamatsu :
  - 32Ch-array pour module central
  - single-Ch pour MRD
- Gain amélioré, dark noise et crosstalk réduit...
- Développement d'une DAQ nécessaire



Parameters	New MPPC ( $\Delta V = 4.0 \text{ V}$ )	Ingrid MPPC ( $\Delta V = 1.1 \text{ V}$ )
Gain	$2.6 \times 10^6$	$7.0 \times 10^5$
Dark noise rate (Hz)	36k	520k
Crosstalk and afterpulse rate	0.052	0.11
Relative photo detection efficiency	1.78	1.0

## Installation d'un prototype - Module H<sub>2</sub>O

- Installation d'un module H<sub>2</sub>O du détecteur central à J-PARC (Nov-Dec 2015) pour prise de données début 2016 (DAQ INGRID)
- Test de la réponse du détecteur
- Mesures de sections efficaces sur-axe (muons identifiés par INGRID)



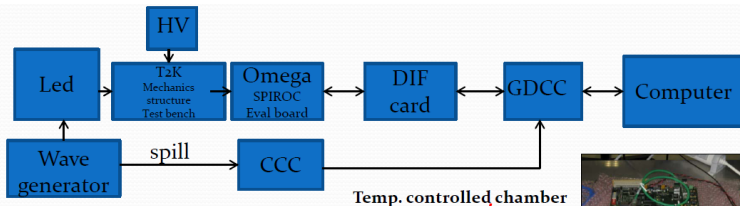
- 1 Motivations
- 2 Le projet WAGASCI
- 3 Contributions du LLR**
- 4 Besoins à venir

- Design prêt pour la construction et l'installation du prototype (sauf corrections mineures)
- Design général avancé
- Design sMRD avancé (sauf modifications ultérieures)
- Design module H<sub>2</sub>O très avancé (90%)

Fabrication, assemblage et mise en place du détecteur = JAPON

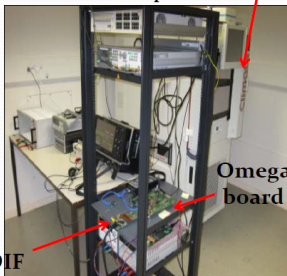
Délivrables = plans

- Adaptation de la DAQ SiWEcal (CALICE) pour la lecture des MPPC de WAGASCI  
→ activité en synergie avec le banc cosmique (LLR)
- Utilisation de la chaîne d'acquisition CALICE avec SPIROC 2d (=prototype pour WAGASCI)
- Mise en place d'un banc de test générique SiPM
- Carte front-end pour WAGASCI développée (servira pour le banc cosmique)
- Visite d'un étudiant Japonais (N. Chikuma) fin Octobre 2015 pour 2 mois



Zone where we introduce the mechanic structure

Boxes are put in temperature controlled chamber  
 Nota : for the test: just used for the light isolation



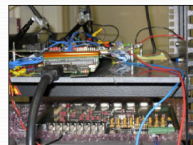
DIF board

Omega board

Temp. controlled chamber



GDCC board



CCC board

- 1 Motivations
- 2 Le projet WAGASCI
- 3 Contributions du LLR
- 4 **Besoins à venir**



- Electronique :

- Réception et test du prototype de la carte front-end
- Transfert des dossiers techniques + connaissances concernant la DAQ aux Japonais
- F. Gastaldi et R. Cornat s'en chargent d'ici le printemps 2016

- Mécanique :

- Design final délivrable au plus tard juin 2016
- Design final MRD à reprendre en fonction des études
- Design module CH, notamment les cubes de matériaux
- Etudes refroidissement pour le prototype / pour le détecteur final
- Besoin d'A. Bonnemaïson à 80% jusqu'à déc. 2015, un peu moins (?) jusqu'en juin 2016

- Etudes MC pour les sMRD
- Développement d'une nouvelle reconstruction d'événements
- Analyse des données (prototype + détecteur complet)

Pas de besoin spécifique

M. Licciardi a débuter sa thèse en septembre : participation à l'installation du prototype, développement reconstruction & analyse de données Nouveaux thésard dans le groupe en Septembre 2016 ?