



Tourniquet Section 01  
19/11/24

# Equipe Neutrino

---

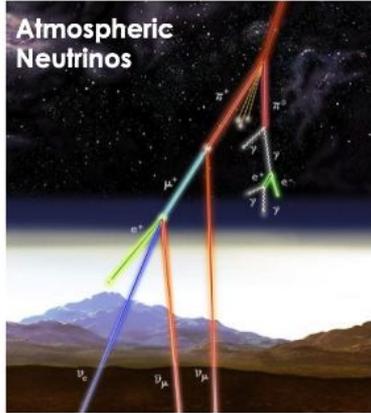
Bilan 2019-2024



Margherita Buizza Avanzini & Thomas Mueller

# Neutrinos @ LLR

## Neutrino: a multi-source particle



### Natural

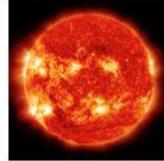
Geo-(anti)neutrinos



Supernova neutrinos



Solar Neutrinos



### Artificial

Accelerator neutrinos



Reactor neutrinos



Notre groupe se concentre sur l'étude de deux sources de neutrinos



Hyper-Kamiokande



Neutrinos d'accélérateur

Neutrinos de supernovas + DSNB

Propriétés des neutrinos (oscillations)

Neutrinos comme sonde d'objets astrophysiques

Mesure de la violation CP dans le secteur leptonique

Accès au taux de formation des étoiles / BH

Implications en cosmologie

# Composition actuelle de l'équipe

Responsables scientifiques locaux : M. Buizza Avanzini et Th. A. Mueller

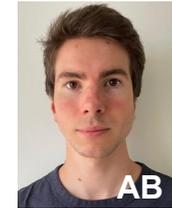
## 5 permanents

- **Margherita Buizza Avanzini (MBA)**, CR, T2K/HK
- **Olivier Drapier (OD)**, DR, T2K/SK/HK
- **Thomas Mueller (TM)**, CR, T2K/SK/HK
- **Pascal Paganini (PP)**, DR, SK/HK
- **Benjamin Quilain (BQ)**, CR, T2K/SK/HK



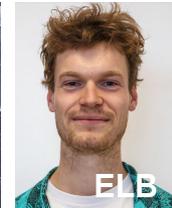
## 3 post docs

- **Viet Nguyen (VN)**, depuis Nov. 2022, T2K, 2 ans IN2P3 + 1 an X
- **Anna Ershova (AE)**, depuis Nov. 2023, T2K/SK/HK, 2 ans X
- **Rudolph Rogly (RR)**, depuis Dec. 2022, SK/HK, 2 ans IN2P3 + 3 mois labo + 3 mois X



## 10 Doctorants

- **Antoine Beauchene (AB)**, SK/HK avec BQ, soutenance dec. 2024, CNRS international
- **Denis Carabadjac (DC)**, T2K/HK avec S. Bolognesi (CEA) et BQ, soutenance oct. 2025, PS/CEA
- **Mathieu Ferey (MF)**, SK/HK avec BQ/PP, soutenance oct 2027, IN2P3
- **Erwan Le Blevac (ELB)**, SK/HK avec TM/MG (LLR / ILANCE), soutenance oct. 2027, CNRS MITI
- **Thomas Leplumey (TL)**, T2K/HK avec BQ/PP, soutenance oct 2027, X
- **Andres Munoz (AM)**, T2K avec OD/MBA, soutenance oct. 2025, CNRS MITI
- **Lena Osu (LO)**, T2K avec MBA, soutenance oct. 2025, RP labo
- **Jean-Baptiste Plancon (JBP)**, T2K avec MBA, soutenance oct 2027, IN2P3
- **Christine Quach (CQ)**, SK/HK avec BQ, soutenance sep. 2026, IN2P3
- **Andrew Santos (AS)**, SK avec PP/TM, soutenance oct. 2025, PhD track X



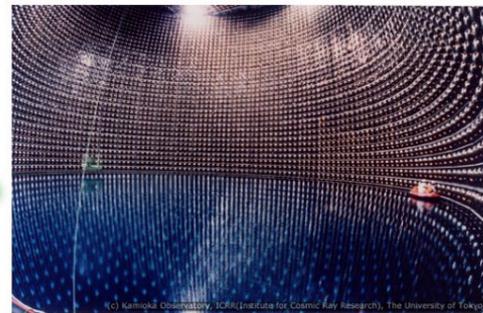
# Evolutions récentes:

- + 1 permanent : **Benjamin Quilain** arrivé en janvier 2020 et actuellement à ILANCE pour 1.5 ans
- 5 thèses soutenues :
  - **Qinhua Huang (JUNO-2019, financement X)**, Directeur de thèse: **O. Drapier**, Postdoc @CEA-Saclay, puis retour en Chine
  - **Olivier Volcy (T2K-2019, financement X)**, Directeur de thèse: **T. Mueller** (HDR en cours), Travaille chez E&Y
  - **Alice Coffani (SK-2021, financement X)**, Directeur de thèse: **M. Gonin**, Travaille dans une StartUp
  - **Alberto Gianpaolo (SK-2022, financement X)**, Directeur de thèse: **P. Paganini**, Travaille en entreprise
  - **Jaafar Chakrani (T2K-2023, Labex P2IO)**, Directrice de thèse: **M. Buizza Avanzini, Prix de thèse IPP 2024**, LBNL Chamberlain (**Postdoc**) Fellowships
- 1 HDR : **M. Buizza Avanzini** (en mars 2023) – Neutrino cross sections in T2K: from their measurements to the oscillation analysis
- 3 postdocs :
  - **Stephen Dolan**, post-doc P2IO (labex) en 2017 sur T2K → **CERN** fellow + LD staff depuis 2019
  - **Laura Bernard**, post-doc IN2P3 en 2019 (2 ans) sur DSNB SK → professeur de physique au lycée
  - **Sonia El Hedri**, post doc IN2P3 en 2018 (3 ans) sur DSNB SK → **CRCN** à l'APC sur KM3Net en 2021
- - 1 permanent : **Michel Gonin** départ pour direction ILANCE en 2021

# L'expérience T2K:



# T2K



J-PARC

Near Detectors

Super-Kamiokande



$\nu_\mu$

Tokai

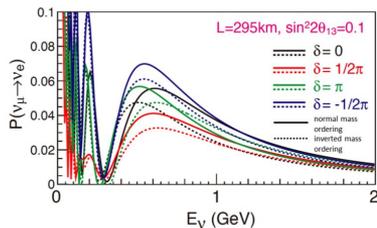
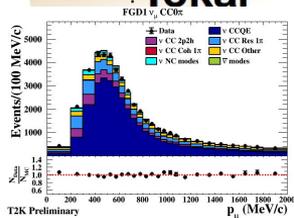
1,700 m below sea level  
295 km

$\nu_\mu$   $\nu_e$

Mt. Ikeno  
1,360 m

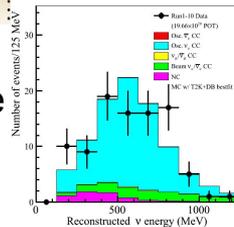


$\nu_\mu$  beam



Kamioka

$\nu_e$  appearance



# L'expérience T2K:



ND: flux and  $\nu$  interaction model tuning +  $\nu$  xsec measurements

# T2K

FD: extraction of the oscillation parameters

Super-Kamiokande

Mt. Ikeno  
1,360 m

1,700 m below sea level  
295 km

J-PARC

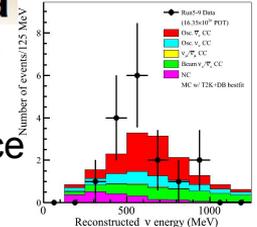
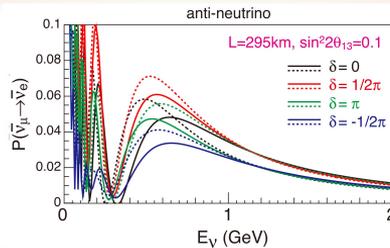
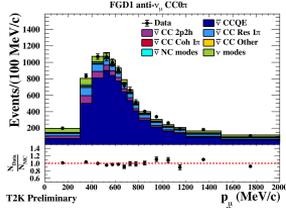
Near Detectors

Tokai

Kamioka

$\bar{\nu}_e$  appearance &  $\bar{\nu}_\mu$  disappearance

$\bar{\nu}_\mu$  beam



# L'expérience T2K:

Hardware + xsec/OA analyses

OA analysis



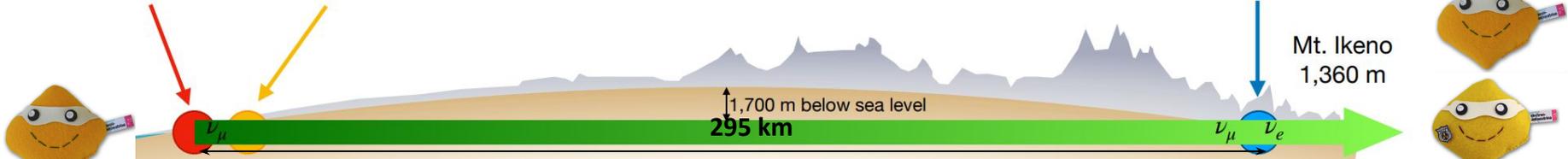
# T2K



J-PARC

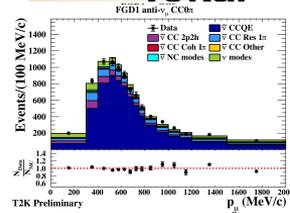
Near Detectors

Super-Kamiokande



$\bar{\nu}_\mu$  beam

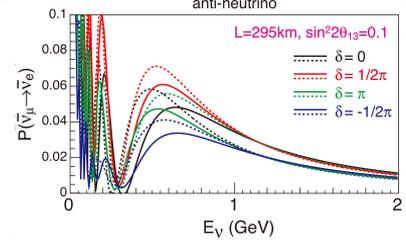
Tokai



1,700 m below sea level  
295 km

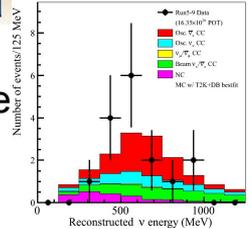
Mt. Ikeno  
1,360 m

anti-neutrino



Kamioka

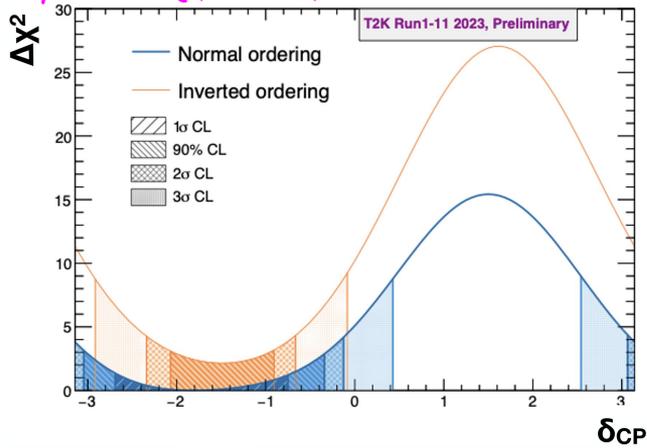
$\bar{\nu}_e$  appearance



# Analyses récentes:

## Phase de violation CP

As presented @NEUTRINO2024



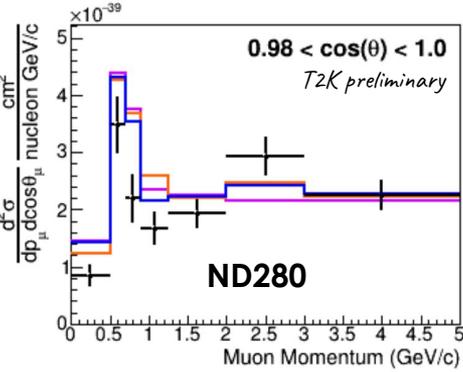
Benjamin convener

T2K exclut la conservation CP à 90% CL et favorise violation CP maximale

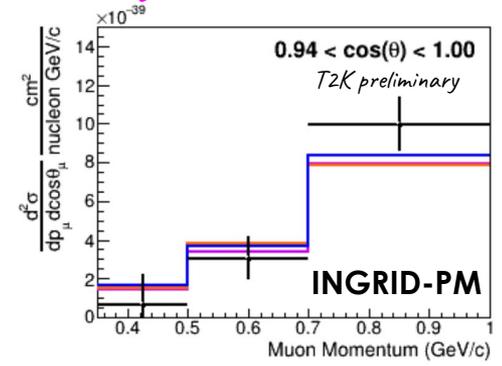
Un update de l'analyse déjà en cours: + de stat. à SK (avec Gd!), nouveau tuning du flux, nouvelle reconstruction au Near Detector. Léna, Viet, Denis déjà à l'oeuvre [avec support de BQ et MBA]

## Sections efficaces

Margherita convener



Phys. Rev. D 108, 112009 (2023)

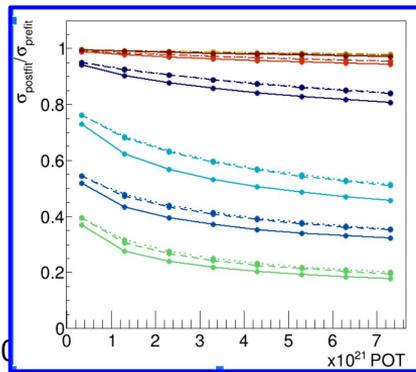
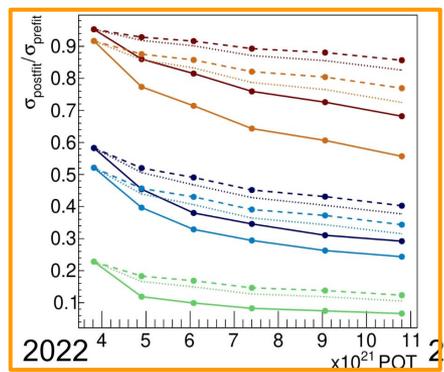


Première analyse exploitant 2 détecteurs proches simultanément!

Permet de tester les modèles d'interactions à différentes énergies!

## Etudes de sensibilité

LLR (Jaafar, Andres, Margherita) leader de ces études



Réduction des incertitudes systématiques pour Carbone et Oxygène en ajoutant SFGD et WAGASCI aux analyses

JUST STARTED!!!

# Phase 2 T2K & ND280-Upgrade:

Elle vient de commencer et durera jusqu'au début de Hyper-Kamiokande. Nous attendons 6 mois de faisceau par an pour les 3 prochaines années

Upgrade important de la puissance du faisceau (1.3 MW pour 2027)

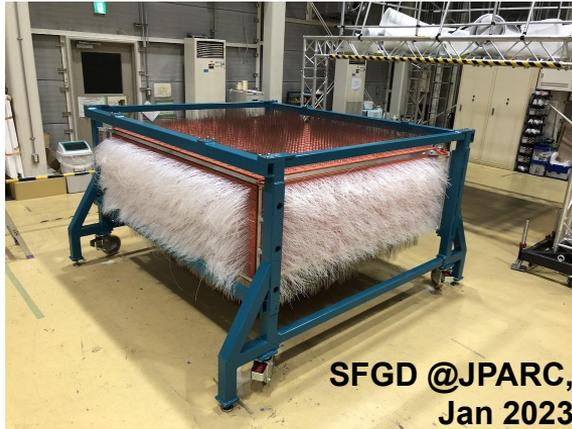
En parallèle, upgrade majeur du détecteur proche ND280

*Le but est d'obtenir une sensibilité à  $3\sigma$  d'exclusion de la conservation de CP d'ici 2027*

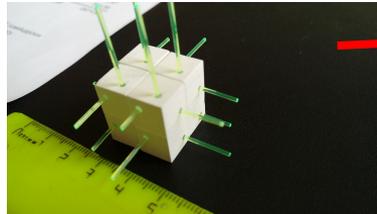
**Super-FGD:** cible totalement active et à haute granularité, intercalée entre 2 TPCs horizontales

*Installation finalisée cet été !!*

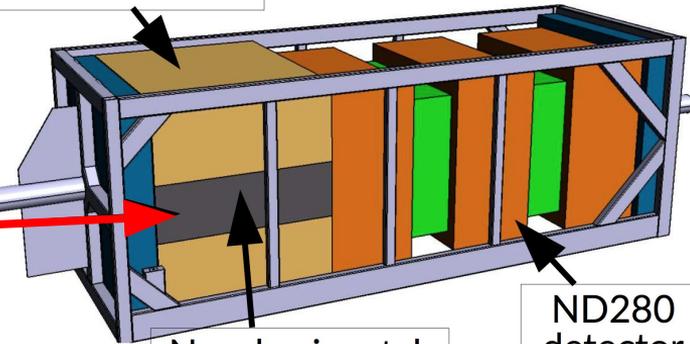
*Prise de données avec un faisceau pour la première fois à 800kW en juin 2024 !!*



2 millions de cubes de  $1\text{cm}^3$ .  
Fibres optiques dans les 3 directions



New horizontal TPCs



JUST STARTED!!!

# Phase 2 T2K & ND280-Upgrade:

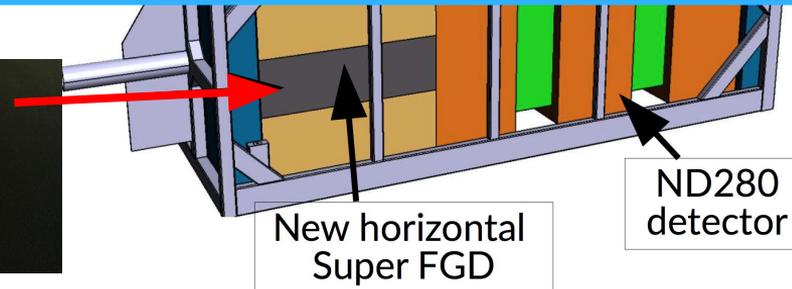
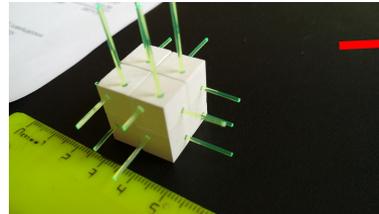
Elle vient de commencer et durera jusqu'au début de Hyper-Kamiokande.  
Nous attendons 6 mois de faisceau par an pour les 3 prochaines années  
**Upgrade important de la puissance du faisceau** (1.3 MW pour 2027)

Participation très importante du LLR :

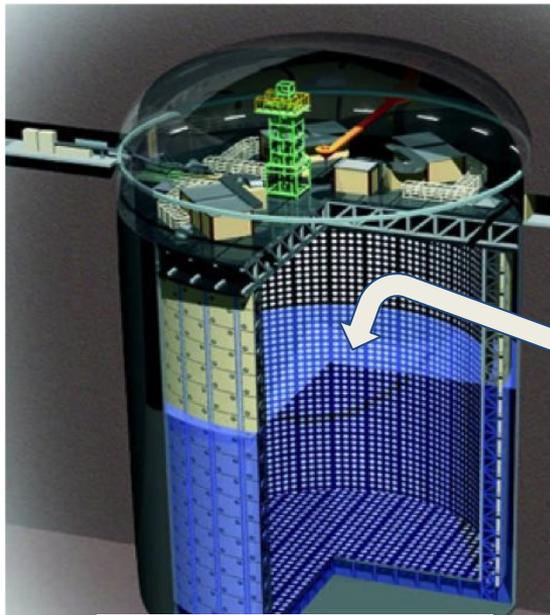
- **Etudes de sensibilité** ([Phys. Rev. D 105, 032010](#), thèse de Jaafar + article en préparation)
- **Development Software** ([GUNDAM](#))
- **Électronique du SuperFGD** : design, production, installation et commissioning ⇒ **contribution fondamentale des physiciens + service électronique + service mécanique** (cold plates)

*(plus de détails dans les annexes)*

Super-FGD  
granularité



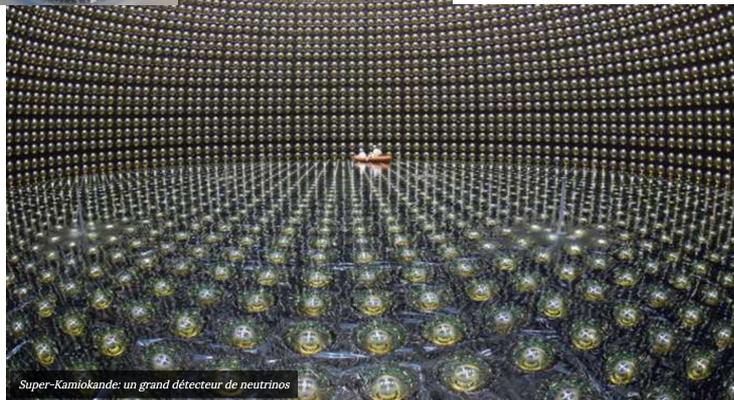
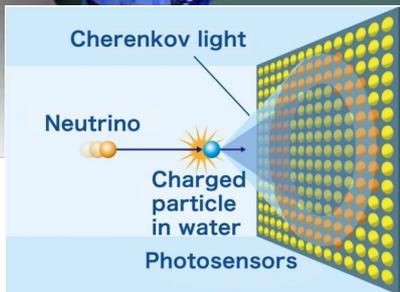
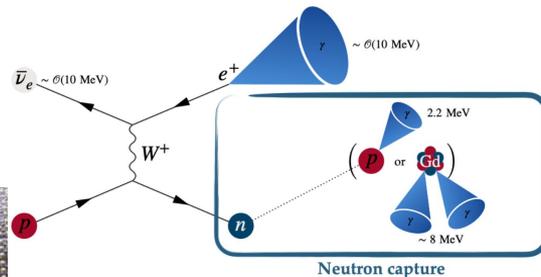
# Super-Kamiokande:



Détecteur Cerenkov à eau de 50 kilotonnes

- Détecteur interne ~11000 PMTs de 50 cm
- Détecteur externe ~2000 PMTs de 20 cm

Dopage en Gd depuis 2020 ⇒ participation forte du LLR au travail hardware



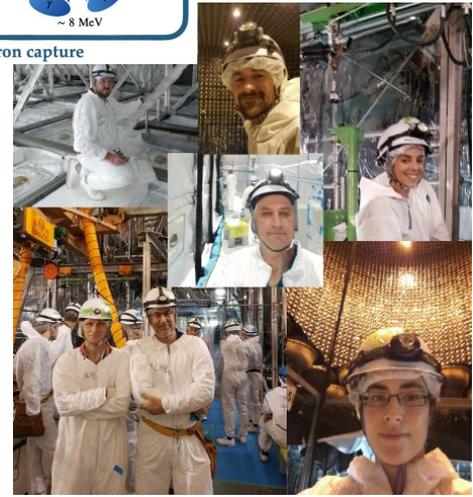
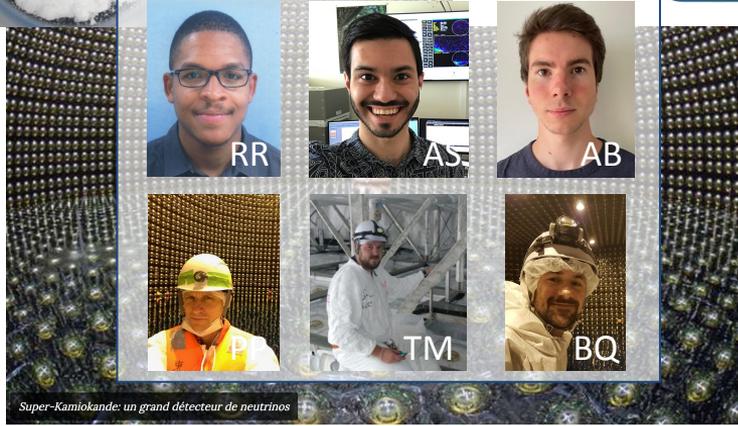
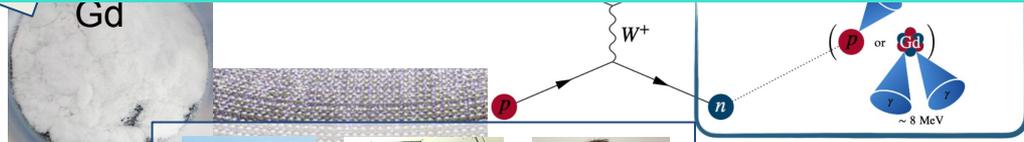
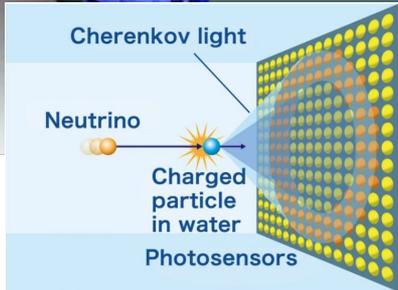
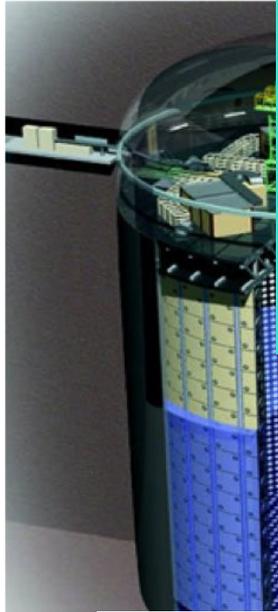
Super-Kamiokande: un grand détecteur de neutrinos



# Super-Kamiokande:



Expérience extrêmement versatile faisant de la physique dans la gamme d'énergie du MeV au TeV : neutrinos solaires et atmosphériques, neutrinos de supernovas, **fond diffus de neutrinos de supernovas (DSNB)**, astrophysique des neutrinos, désintégration du proton, matière noire, neutrinos de faisceau (T2K)

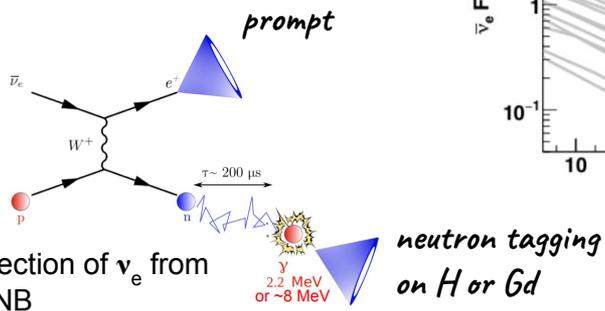
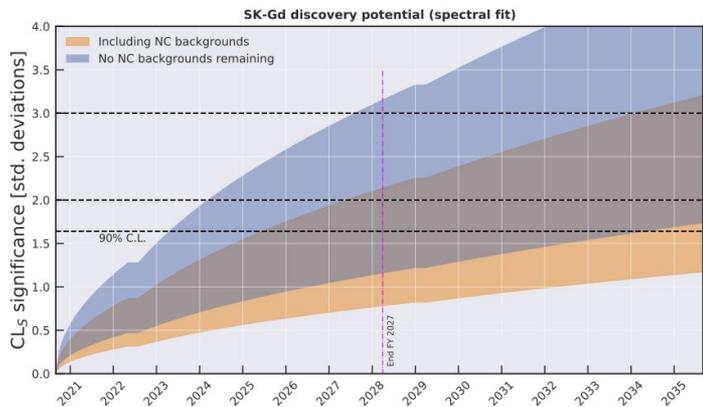


# Analyses récentes:

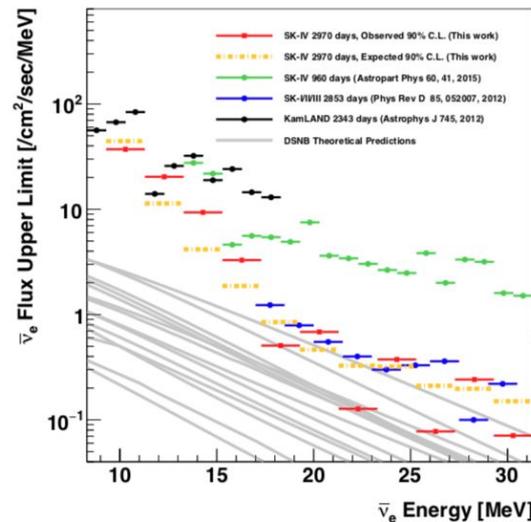
Les analyses avec les données sans Gd permettent déjà de contraindre les modèles "médiants"  $\Rightarrow$  nouveaux résultats cet été

Le groupe est leader de l'analyse DSNB depuis 2019. Deux articles publiés.

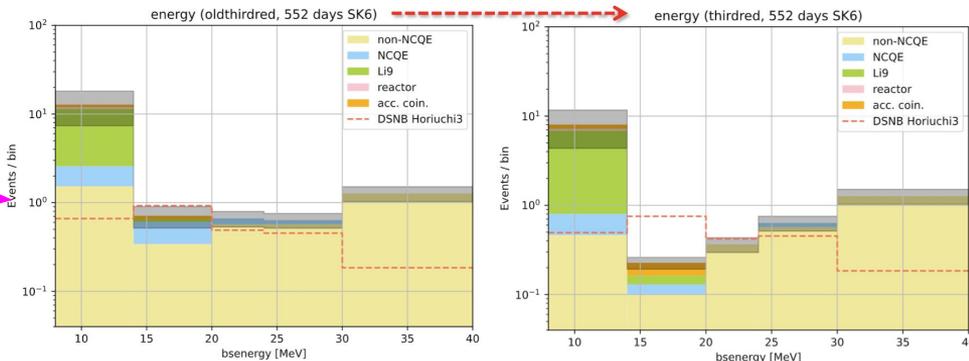
## Etudes de sensibilité officielles avec Gd (Alberto)



Phys. Rev. D 104 122002 (2021)



Les deux analyses reprises par nos actuels doctorants et post-doc : adaptation des cuts/algo pour SK-Gd pour le neutron tagging, BDT vs GNN, amélioration des coupures pour le signal prompt (Andrew, Antoine, stagiaires), traitement statistique combinaison des phases (Rudolph)  $\Rightarrow$  résultats de SK-VI et VII montrés à Neutrino 2024 !



# Résultats des phases SK-VI et VII avec Gd

## Review of Diffuse SN Neutrino Background

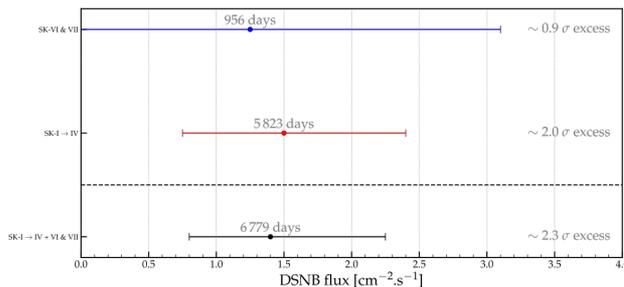
Masayuki Harada  
ICRR, University of Tokyo, Japan (mharada@icrr.u-tokyo.ac.jp)

NEUTRINO 2024 S10: Neutrino Cosmology, June 20th, 2024  
@Milan, Italy



Suite à ces résultats :  
invitations à NOW, Blois,  
AAP + 3 séminaires

<https://agenda.infn.it/event/37867/contributions/233922/>  
<https://zenodo.org/records/12726429>



nature

nature > news > article

NEWS | 09 July 2024

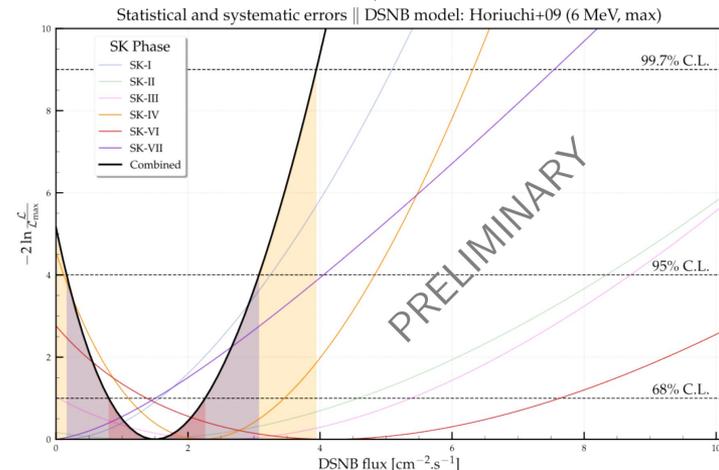
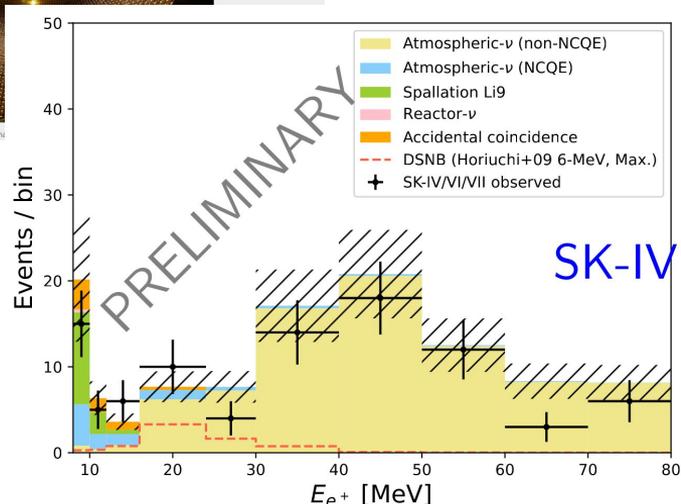
### Huge neutrino detector sees first hints of particles from exploding stars

Japan's Super-Kamiokande observatory could be seeing evidence of neutrinos from supernovae across cosmic history.

By Davide Castelvecchi



Super-Kamiokande's underground tank must be drained for major maintenance



3 posters DSNB @ LLR : A. Beauchêne, R. Rogly & A. Santos

**Meilleure limite mondiale !**

# Prolongation de l'expérience SK jusqu'à au moins 2027 et au démarrage de HK

- Observation du DSNB avec SK-Gd
- Observation d'une SN galactique
- Recherche de matière noire
- Neutrinos HE de sources astrophysiques

From superk@suketto.icrr.u-tokyo.ac.jp  
 To superk@suketto.icrr.u-tokyo.ac.jp <superk@suketto.icrr.u-tokyo.ac.jp>  
 Cc Masayuki Nakahata  
 Reply to Masayuki Nakahata  
 Subject [superk:09088] Super-K evaluation by MEXT

Dear Super-K members,

The MEXT evaluation of Super-K was successfully passed, allowing us to continue operating Super-K beyond FY2024.

The MEXT report (in Japanese) can be found here:  
[https://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu4/toushin/1423056\\_00029.htm](https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu4/toushin/1423056_00029.htm)

The recent activities of Super-K were highly evaluated.  
 Thank you for your contributions.

Best Regards,  
 M. Nakahata

- Hiérarchie des masses avec neutrinos atm.
- Violation CP avec neutrinos de faisceau (T2K)
- Neutrinos solaires

- Désintégration du proton avec SK-Gd
- Analyses multi-canaux SK-I à VIII

【年次計画】

項目 (研究テーマ)	1年目 (2025年度)	2年目 (2026年度)	3年目 (2027年度)	4年目 (2028年度)	5年目 (2029年度)	6年目 (2030年度)	7年目 (2031年度)	8年目 (2032年度)	9年目 (2033年度)	10年目 (2034年度)	10年目 以降	備考
1. ニュートリノを用いた宇宙観測 ・ Gdを導入した検出器により、宇宙初期からの超新星爆発からのニュートリノの観測を目指す。 ・ 天の川銀河での超新星爆発をモニターし、観測した場合には超新星の方向をいち早く世界の光学望遠鏡観測網に発信する。 ・ 多様な方法による暗黒物質の探索 ・ 高エネルギー天体からの宇宙ニュートリノ探索 成果指標：関連論文数	超新星背景ニュートリノの観測を目指す		天の川銀河での超新星爆発モニター		暗黒物質の探索		宇宙ニュートリノ探索		※9本以上/5年	※		
2. ニュートリノの質量階層性など全貌解明に向けた研究の展開 ・ 加速器や原子炉ニュートリノ実験の結果を合わせることで観測精度の向上を図り、大気ニュートリノの精密観測により、ニュートリノ質量階層性の発見を目指す。 ・ T2K実験の観測精度を向上し、原子炉ニュートリノとの比較によりニュートリノと反ニュートリノの違いを探り(ニュートリノのCP非保存)、その兆候を探る。 ・ 周辺ノイズを取り除くことで太陽ニュートリノの観測精度を向上させる。 成果指標：関連論文数	ニュートリノ質量階層性の発見を目指す		ニュートリノのCP非保存の兆候を探る		スペクトルの歪み、昼夜変動の観測を目指す		※9本以上/5年	※				
3. 大統一理論の検証を可能とする陽子崩壊の探索 ・ Gd導入後のデータに最適化した陽子崩壊探索手法の開発を行い、探索感度向上を実現する。 ・ SK開始以来の全データを用い、多様な陽子崩壊モードを用いた網羅的な探索を行う。 成果指標：関連論文数	陽子崩壊探索の感度向上		陽子崩壊の網羅的探索		※5本/5年	※5本以上/5年			※			

# The Kamiokande series:



2015  
**Super-Kamiokande**



**KamiokaNDE**

**Hyper-Kamiokande**



258 kton

from 2027



1983-1996

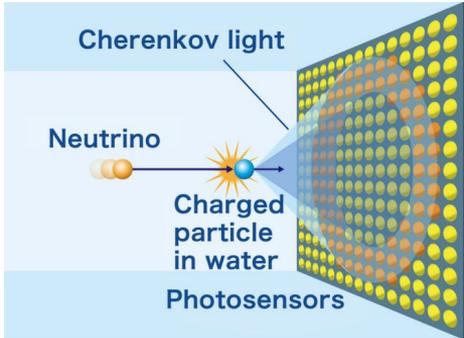
3 kton

50 kton

1996 -

x 20

x 8



# Hyper-Kamiokande:



$$\left( \text{T2K} + \text{SUPER SK} \right) \times 8 =$$

## Hyper-Kamiokande physics program

**Solar neutrinos**

Survival probability up-turn  
Solar/reactor tension  
hep neutrinos

Proton decay    Positron

Proton     $\pi^0$

Probe Grand Unification Theories via p-decay

Cosmic ray

Not long enough to oscillate

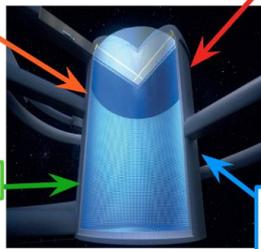
Long enough to oscillate

**Atmospheric neutrinos**

Oscillation affected by matter effects  
Sensitive to MO

**Supernovae neutrinos**

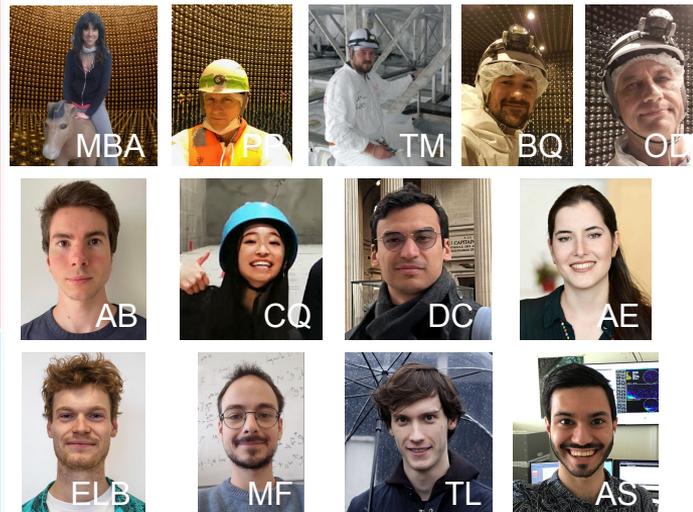
Core-collapse SNv: constrain SN profile models  
Diffuse SuperNova  $\bar{\nu}$  background



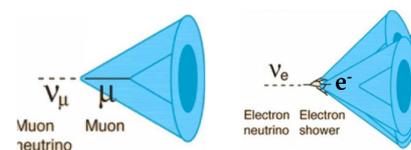
*The future and bigger synthesis of T2K and SK physics*

Observe CP violation for leptons at 5 $\sigma$   
Precise measurement of  $\delta_{CP}$

**J-PARC accelerator neutrinos**

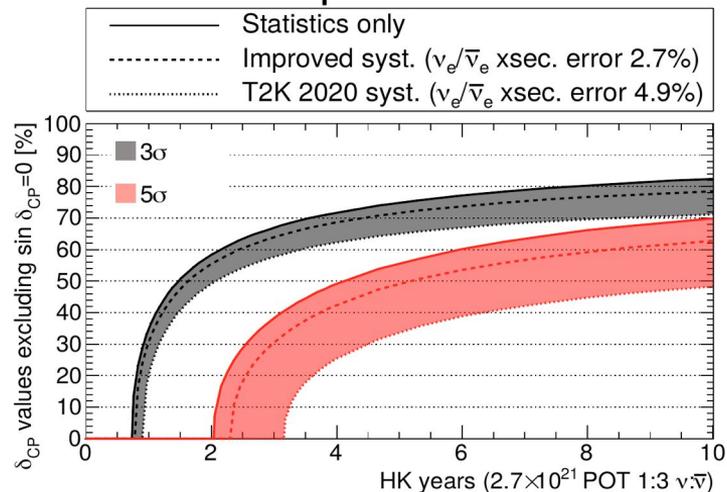


# Analyse et software HK:



## Analyses de sensibilité officielles de HK (2023) produites par le groupe LLR (Denis)

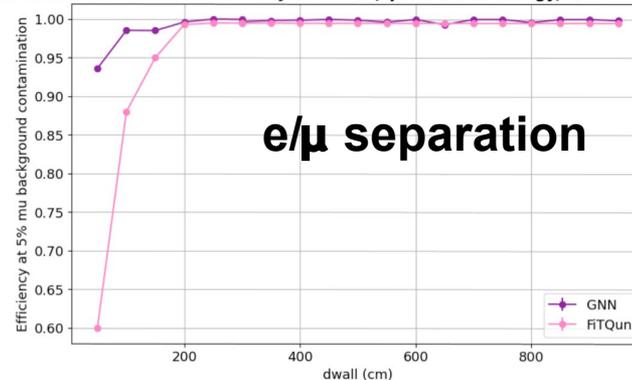
Portage logiciel d'oscillation Japon/France de T2K vers HK



**Si CPV maximale ⇒ 5σ en 2.5 années** de HK  
+ **meilleure précision mondiale sur  $\delta_{CP}$**   
⇒ permet de contraindre les scénarios de symétrie de saveur, de leptogénèse etc.

**Nouvel algorithme de reconstruction basé sur l'utilisation d'un Graph Neural Network (GNN)** afin de dépasser l'algorithme actuel de SK/HK (fitQun)

Electron identification efficiency vs dwall (spectrum of energy, e/μ separation)



**Surpasse déjà fitQun !**

C. Quach, A. Ershova (LLR), E. Le Blevec (LLR / ILANCE)  
Validation avec les données SK & WCTE avant début HK  
⇒ augmentation de la sensibilité à CP et MH + **place de choix dans les futures analyses**

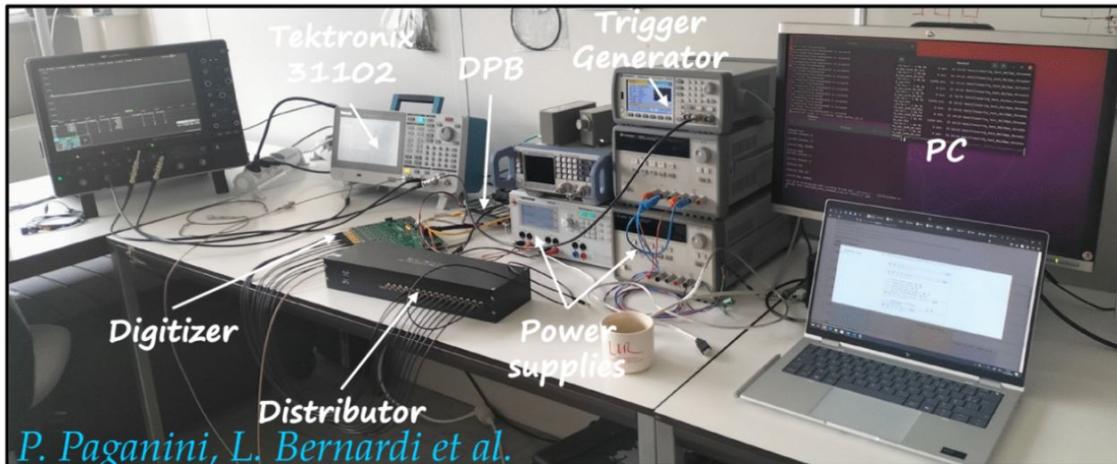
# Hyper-Kamiokande: banc de test

Développement d'un banc de test de qualification et de calibration de toute l'électronique sous-marine de HK

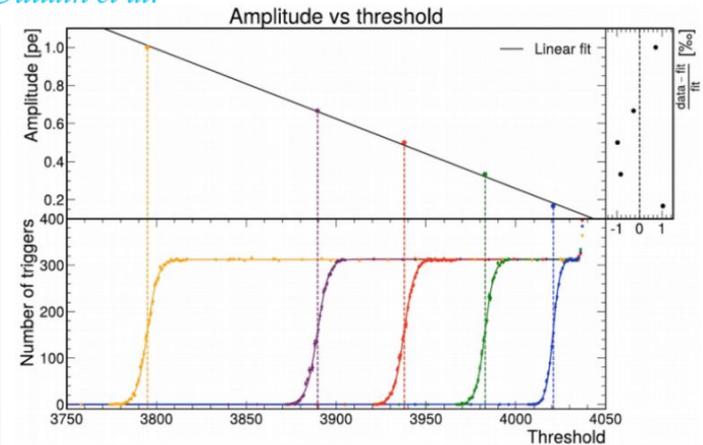


S. Russo

B. Ouilain et al.



P. Paganini, L. Bernardi et al.



# Production scientifique

SK  
T2K  
HK

- 2018 **rénovation du détecteur SK**, pour rajout du Gd (2020 0.01% et 2022 0.03%)
- 2019 le groupe rejoint le ND280 Upgrade de T2K pour l'**électronique du super-FGD**
- 2020 le groupe rejoint la **collab HK**, recherche R&D asic lancée
- 2020 T2K publie dans **Nature** des premières indication de violation de CP
- 2020 installation complète du détecteur proche de T2K, **WAGASCI/BM**
- 2021 le groupe finalise l'**analyse DSNB**
- février 2022: le **tunnel d'accès de HK** est complet
- 2023: le groupe commence l'activité sur le **banc de test** pour l'élec. de HK
- october 2023: le dôme de la cuve pour HK est complet
- nov. 2023: l'**analyse combinée T2K/SK** est présentée publiquement
- l'**analyse combinée T2K/Nova** est présentée publiquement
- juin 2024 l'**Upgrade du détecteur proche** de T2K est complet
- juin 2024 les **résultats DSNB** de SK-Gd sont présentés à Neutrino 2024

# Responsabilités : recherche

- Recherche :
  - pour T2K : BQ resp. analyses d'oscillation, MBA responsable analyses sections efficaces et membre de l'IB, OD responsable de l'électronique du Super-FGD
  - pour SK : TM membre du country board
  - pour HK : TM membre de l'IB, MBA membre du speakers board, TM membre du publication board, BQ responsable de la reconstruction, PP responsable du banc de test, TM co-responsable base de données
- Implications au niveau national :
  - BQ responsable national HK, TM responsable national SK
- Implications dans la vie du laboratoire :
  - MBA et TM membres du conseil de laboratoire, TM conseiller en radioprotection
- Demandes et gestion de supports financiers spécifiques :
  - OD : RISE SK2HK, BQ : ANR CAVERNS

# Responsabilités : enseignement

- Enseignements :
  - TM : PCC à l'École polytechnique → PC "physique des particules élémentaire" (3A/M1) ; Cours magistral "neutrinos" (M2) ; Co-responsable des stages en 3A/M1 et M2
  - PP : PCC à l'École polytechnique → Cours magistral "physique des particules avancée" ; Co-responsable des stages en 3A/M1 et M2
  - MF & TL : tutorat relativité restreinte (bachelor) ; PC en électromagnétisme & analyse numérique (bachelor) à partir de 2025
  - OD : Cours magistral de physique des particules aux Mines
- Implications dans la vie de l'École polytechnique / IPP :
  - TM & PP : responsables du Master joint PHE de l'X / ETH Zurich
  - PP : responsable de la mention physique pour les masters de l'IPP
  - OD + TM + BQ : examinateurs à l'oral pour le concours d'entrée de l'École polytechnique en physique et ADS physique
  - MG : direction du concours d'entrée à l'École polytechnique jusqu'en 2020

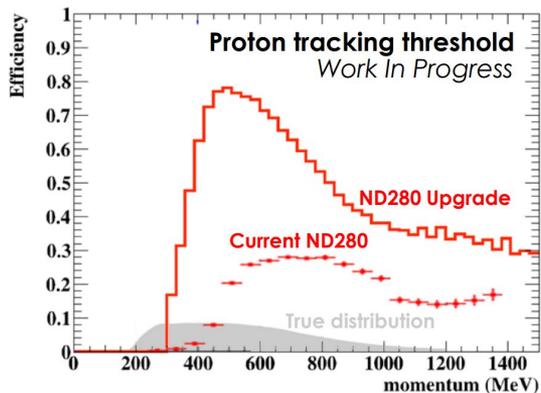
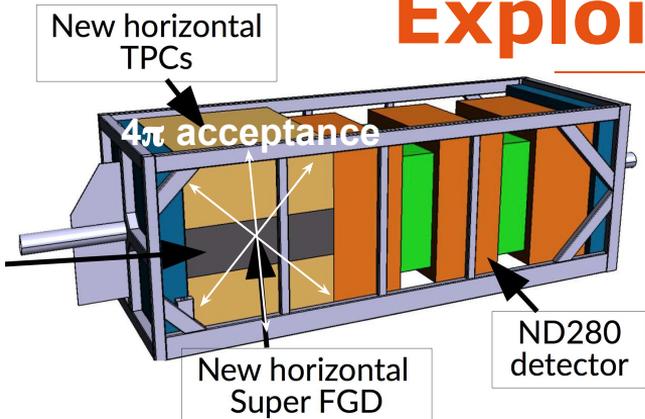
# Projet scientifique, anticipation

---

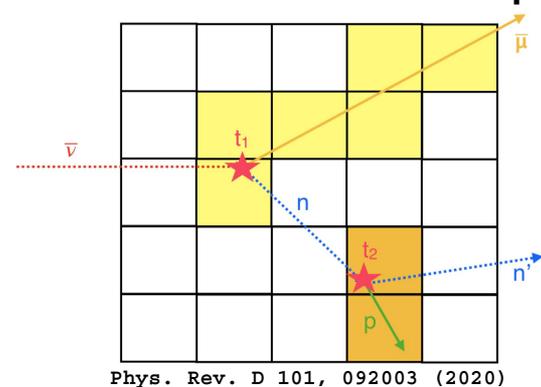
- Exploitation des données du ND280-Upgrade
- SK :
  - DSNB (réduction bdf spallation, traitement statistique des différentes phases de SK)
  - Neutrinos atmosphériques (full dataset, fiTQun + ML)
- Nouveau joint-fit T2K-SK
- Continuer à tester les algorithmes développés dans le cadre de HK avec les données Super-Kamiokande et WCTE

→ **travail de préparation à l'analyse des données de HK**

# Exploitation de l'upgrade du ND280

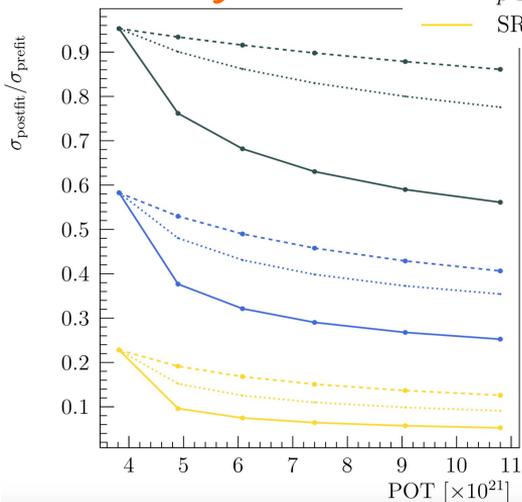


## Neutron detection concept



*Better constraint of interaction systematics*

- s-shell  $p_N$  shape C
- p-shell norm. C
- SRC norm. C

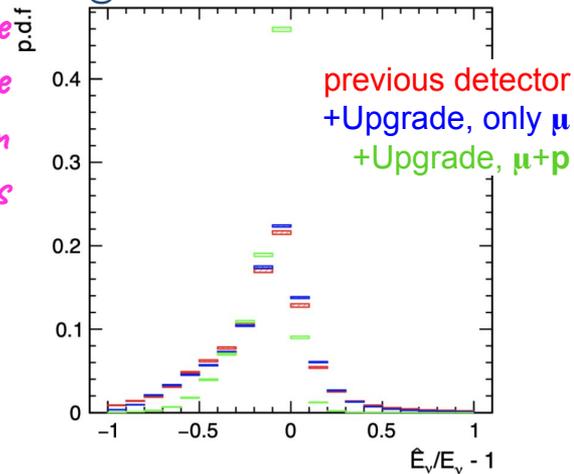


- previous detector
- +Upgrade, only  $\mu$
- +Upgrade,  $\mu+p$

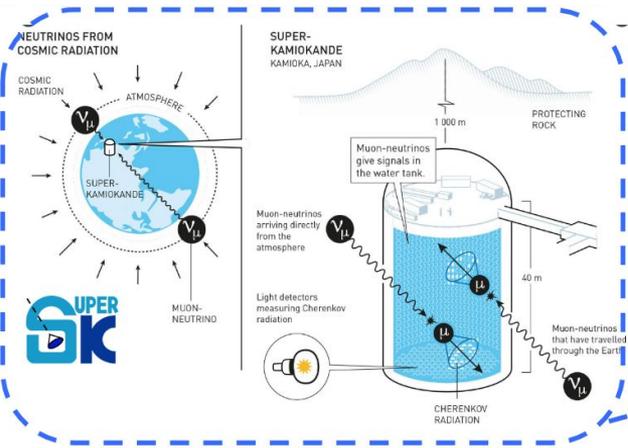
*Better resolution of the reconstructed  $E_\nu$  after the near detector tuning when using  $\mu+p$  kinematics*

The use of variables exploiting both the outgoing lepton and neutron information open the doors to a much better constraint of some interaction systematics as well as a series of dedicated cross section analyses

@  $\sim 11 \times 10^{21}$  POT

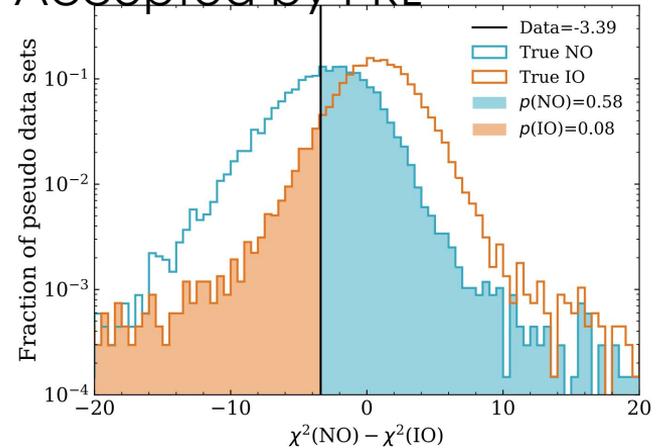


# T2K + SUPER SK



Same (far) detector:  
**Super-Kamiokande**  
 Two neutrino sources:  
**atmospheric (SK)** and  
**accelerator (T2K)**

Accepted by PRL



Both SK and T2K show preference for Normal Ordering  
 ⇒ when combined we see an **increased preference for NO**

Planning to participate in the second iteration of the analysis (more stat, new interaction model,..)

# Auto analyse du groupe

## 1) Points forts

- **Engagement scientifique de haut niveau** : équipe impliquée dans les expériences de premier plan en physique des neutrinos avec contributions significatives.
- **Jeunes chercheurs dynamiques et motivés** : nombreux jeunes dans l'équipe, à l'origine de contributions importantes. Atout pour l'innovation, la motivation, et la dynamique d'équipe.
- **Vision à long-terme avec HK** : l'équipe a anticipé sur la prochaine grande expérience en physique des neutrinos (découverte et mesure de la violation CP !), et a assuré sa pérennité scientifique et son rayonnement dans la communauté, pas de concurrence à court terme
- **Continuité et valorisation de notre travail dans T2K / SK** : algorithmes, analyses, hardware (INGRID, ND280, WAGASCI)
- **Expertise et reconnaissance dans le domaine** : expertise reconnue et excellent positionnement dans nos collaborations, ce qui nous donne une crédibilité et une visibilité importante.

## 2) Opportunités

- **Expansion du groupe avec HK** : élargissement des ressources humaines et des financements si l'équipe se positionne comme leader dans certains aspects de l'analyse ou du développement.
- **Attractivité du groupe** : notamment auprès de physiciens des particules (collisionneurs) comme d'astrophysique / astroparticules avec HK
- **Accroissement du financement pour la recherche** : domaine avec fort potentiel scientifique (e.g. asymétrie matière-antimatière), l'équipe pourrait bénéficier de financements nationaux et européens plus élevés.
- **Recrutement et développement d'expertise** : L'obtention d'un poste permanent supplémentaire et de CDD (doctorants, post-docs) permettrait de renforcer les compétences de l'équipe.

## 3) Points faibles

- **Transition délicate pour le passage vers HK** : préparer les tests et la construction de HK tout en maintenant notre haute visibilité dans T2K et SK est un exercice difficile.
- **Dépendance des CDD** : une part importante du travail d'analyse est assurée par des chercheurs non permanents, perte d'expertise des permanents concernant l'analyse (surtout SK).
- **Collaboration internationale au Japon** : peut être difficile en terme d'organisation (décalage horaire, voyage).
- **Limites des moyens techniques et humains actuels** : fort besoin de support technique pour HK.
- **Contribution significative des membres permanents à l'enseignement** : temps consacré à la recherche plus limité mais recrutement optimisé des étudiants

## 4) Risques

- **Perte de leadership sans renforcement de l'effectif** : si les recrutements nécessaires (postes permanents et CDD) ne sont pas assurés, l'équipe pourrait avoir du mal à maintenir sa place de choix dans les collaborations T2K, SK, et HK face à d'autres équipes mieux dotées.
- **Dépendance du timing de HK** : si le projet HK rencontrait du retard (peu probable) ou une difficulté au démarrage, il faudrait s'assurer de la prolongation des expériences T2K et SK.
- **Dépendance des financements** : un défaut de financement serait néfaste pour honorer nos engagement vis à vis de HK (construction et commissioning au Japon).
- **Surestimation des performances de physique de HK à basse énergie** : couverture en PMTs réduite par rapport à la baseline initiale, bruits de fond plus importants que dans SK.

# Annexes

---

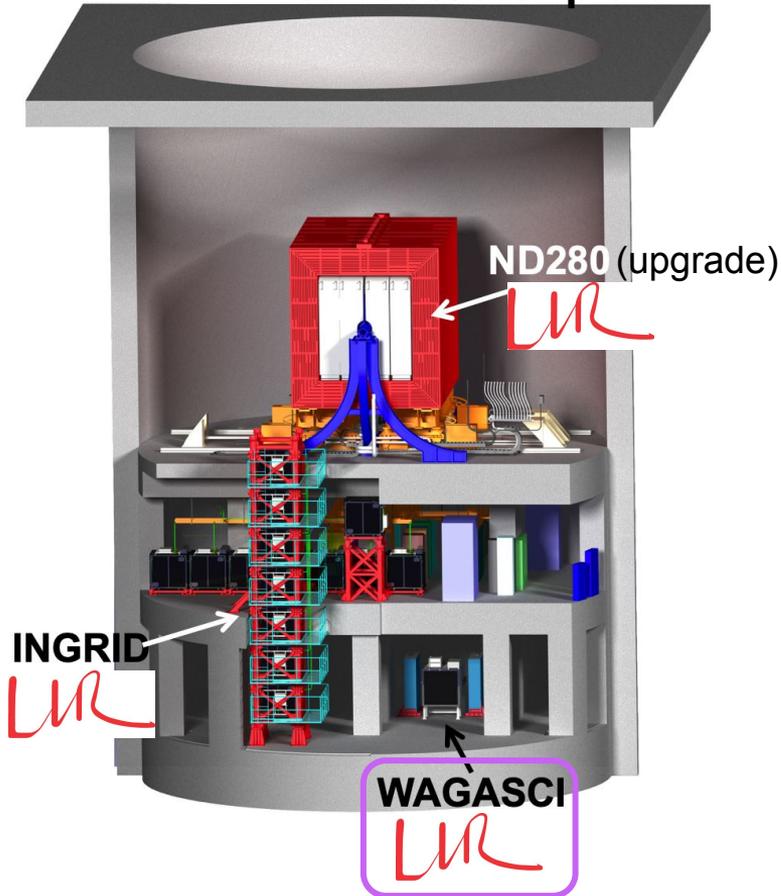
# Visibilité et rayonnement

- 43 présentations à des conférences et séminaires (membres, post-doc et doctorants) :
  - 2024 : Rencontres de Moriond (Andrew S.), NuInt (Anna E.), **Neutrino 2024 (Margherita B.A.)**, ICHEP (Denis C.), NOW (Antoine B.), Rencontre de Blois (Andrew S.), ECT\* (A. Erchova), AAP (Rudolph R.), NPLM (Christine Q.), CNRS-JSPS-JST (Christine Q.), Neutrino frontiers (Thomas M.)
  - 2023 : NuXtract (Margherita B.A.), International Workshop on Multi-messenger Tomography of the Earth (Andrew S.), Rencontres du Vietnam (Viet N.), TIPP (Rudolph R.), La Thuile (Thomas M.), International Conference on the Physics of The Two Infinities (Thomas M. et Benjamin Q.)
  - 2022 : NOW (Jaafar C.), EDSU (Margherita B.A.), Ecole de Gif (Thomas M.)
  - 2021 : Nufact (Jaafar C.), Global Neutrino Network Machine Learning meeting (Antoine B.), International Workshop on Neutrino Telescopes (A. Gianpaolo)
  - 2019 : European Physics Society 2019 (Benjamin Q.), Tension2019 (Margherita B.A.), PhysStat Nu (S. Dolan), ECT\* (S. Dolan)
- **Accueil de réunions Collaboration/workshops**
  - T2K Coll. meeting à l'Ecole Polytechnique, 1 semaine en 2019, ~200 personnes
  - IRN Neutrino, 1 semaine en 2024, ~50 personnes

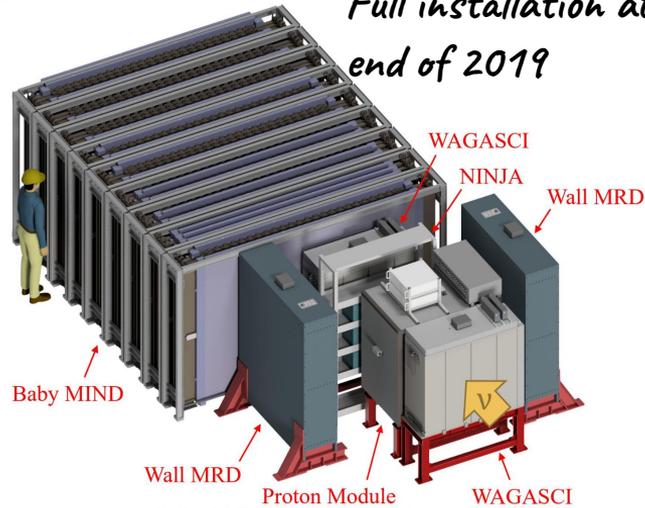
*+several talks at IRN-Neutrino meetings, lab seminars and posters*

# LLR & WAGASCI/BM

T2K near detector pit



Full installation at the end of 2019



Measure neutrino cross section on water

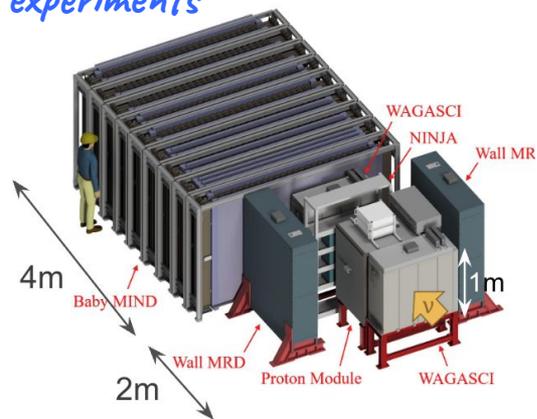
WAGASCI @LLR (since 2015): **mechanical** design, physics **MC** studies, development of installation procedures, participation to the detector installation, development of the **acquisition** chain based on the LLR system ~ CALICE

*Simultaneous study of O and C interactions is particularly relevant for T2K and other water experiments*

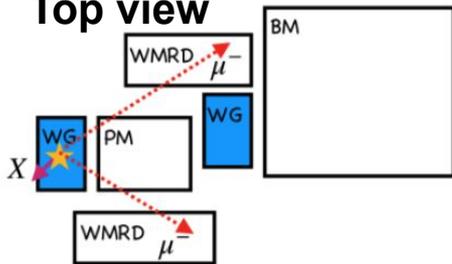
# More on WAGASCI



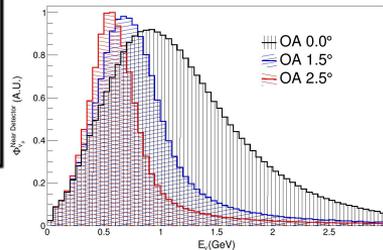
Plastic and water (+plastic) modules → allow simultaneous measurements on CH and H<sub>2</sub>O



Top view



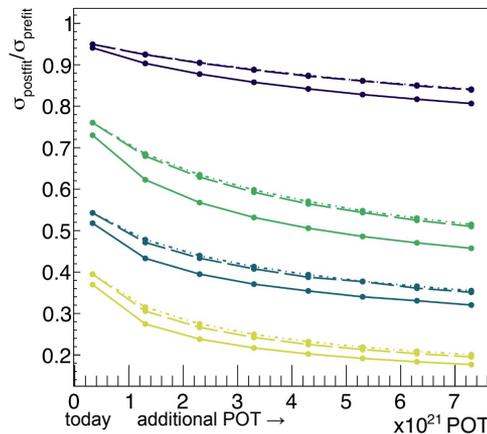
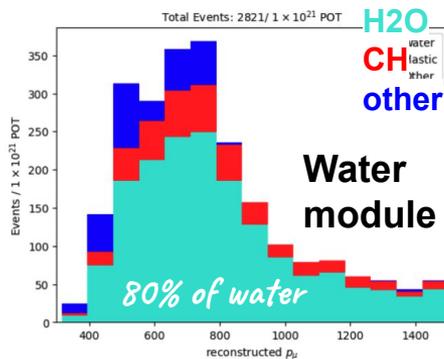
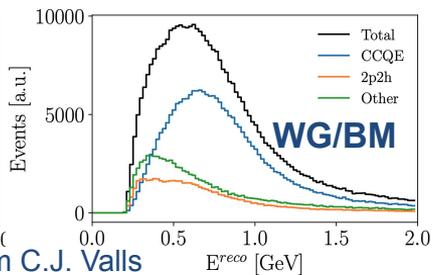
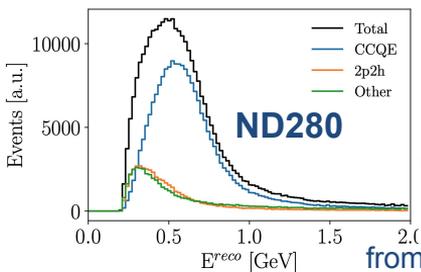
WAGASCI/BM



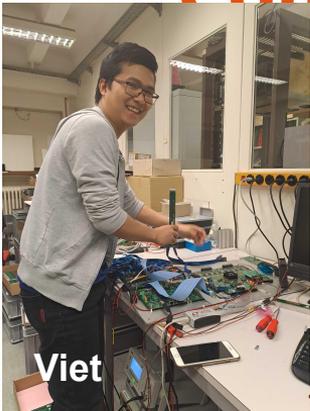
--- CURRENT ND280

--- +SFGD

— +WAGASCI



*Future plans include joint measurements with ND280*



Viet

# Contribution technique T2K : N280 upgrade

*ND280 Upgrade depuis 2019*

## Electronique SFGD

Développement des cartes front-end (CITIROC) avec l'Université de Genève

Tests de performances réalisés au LLR (Jaafar, Olivier + serv. électronique): calibration, cross talk, saturation, timing resolution, test en champs magnétiques

Tests fonctionnels @UniGe avec grande participation du LLR tout au long de 2023 (Viet, Lena, Andres)

## Mécanique (Cold plates)

Prise en charge de la fabrication des "cold plates" par le service méca LLR (à l'origine à la charge de UniGe, mais problème de budget) ⇒ 15 k€ reçus de la part de l'IN2P3

Refroidisseurs en Alu + TFLEX

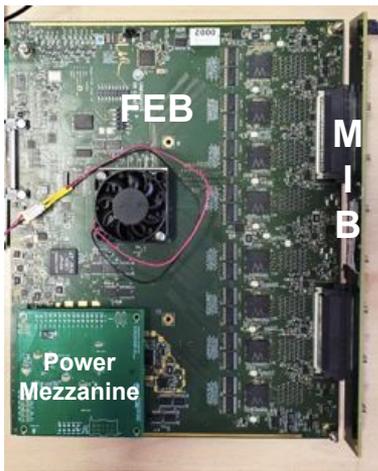
Contact thermique maximal sur la FEB

Contact thermique sur les barres de refroidissement de fond de châssis

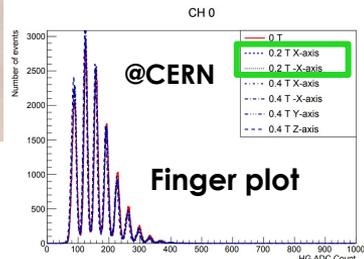
Refroidisseurs en Alu + TFLEX

221 pièces + quelques spares

*Grande participation (shift) de toute l'équipe Neutrino!*



MIB



*Excellente performance des FEBs, même en champ magnétique*

# Contribution technique T2K : installation & commissioning de ND280 upgrade @ J-PARC

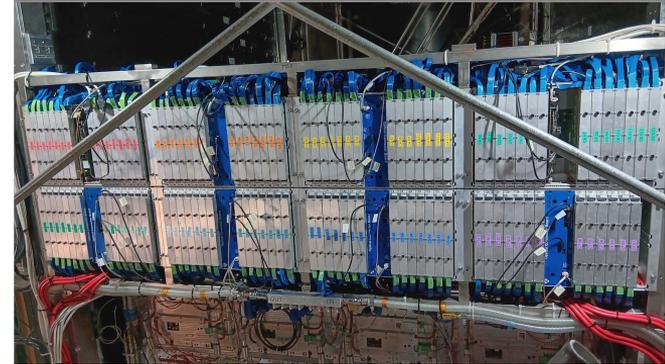
Léna, Viet, Andrès, Olivier depuis juillet 2023



Le SFGD est calé dans le pit (octobre 2023)



Les membres du LLR installent l'électronique



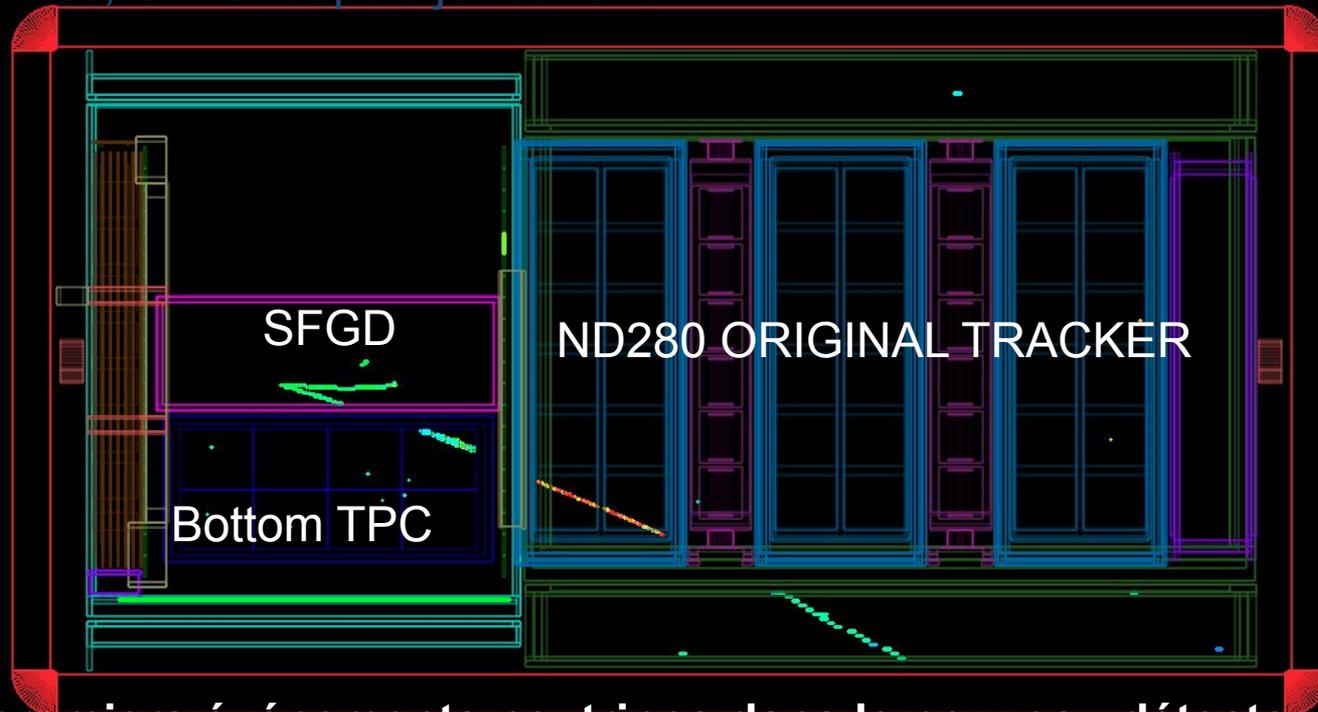
Vue de la moitié des FEBS installées (côté droit)

# Contribution technique T2K : installation & commissioning de ND280 upgrade @ J-PARC

Run number : 16070 | SubRun number :3 | Event number : 74227 | Spill : 59219 | Time Wed 2023-12-20 22:50:20 JST | Partition : 61 | Trigger: Beam Spill

Léna, Viet, Andrés, Olivier depuis juillet 2023

CNRS press  
release



**Un des premiers événements neutrinos dans le nouveau détecteur !!!!  
Avec un faisceau plus puissant !!!**

Reprise de la prise des données fin mai 2024 avec le nouveau détecteur complet !!

# Contribution technique HK - HKROC & Banc de test

## HKROC HKROC extensivement testé, montre des performances exceptionnelles

- Time resolution < 30ps
- Linéarité 1%
- Deadtime < 30ns

Functional board digitizer v2 en production

*1 publication: JINST 18 C01035 (2023)*

*+ 1 papier en préparation*

*Intégré dans la collaboration DRD2 pour des futures applications*



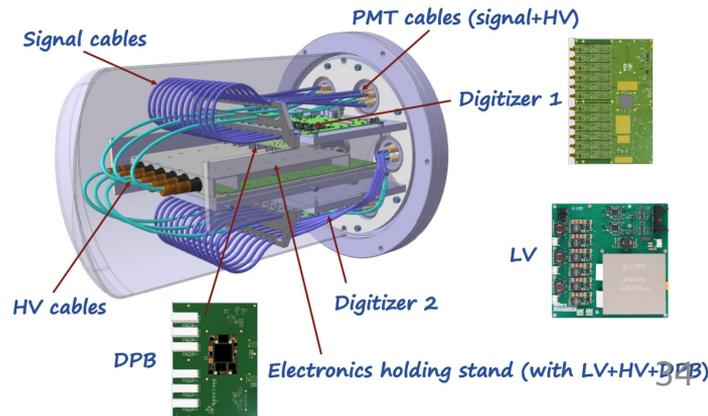
## TEST BENCH POUR HK

**Banc de test au CERN: LLR chargé du design et de la réalisation des bancs de test pour l'électronique de HK. Le but est de calibrer les cartes de digitization et de tester l'ensemble de l'élec. de Front-end contenu dans le "vessel" sous-marin.**

Tests doivent commencer au CERN début 2025 et durer 1,5 ans

Banc tests à déployer / "commissionner" fin 2024. Vérifications de:

1. linéarité du F.E sur toute la gamme dynamique
2. jitter des signaux
3. signaux de slow control ( temperature, humidité etc.)

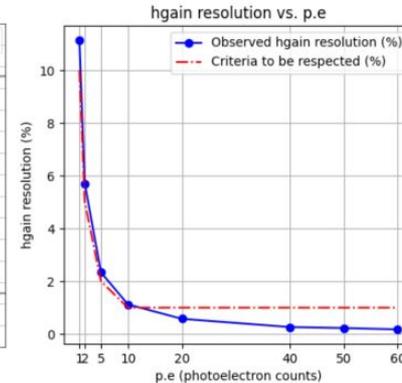
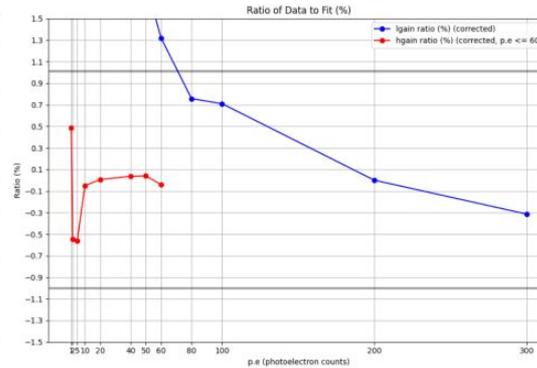
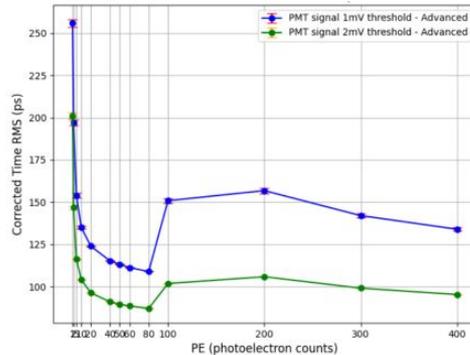


# Contribution technique HK - Banc de test

Banc tests fonctionnels  $\Rightarrow$  choix final du générateur : Tektronix AFG 31102

Brand	Keysight	Active Technologies	Tektronix	Tektronix
Model	33600A	AWG4014	AFG31252	AFG31102
Sampling rate	1 GS/s	1.2 GS/s	2 GS/s	1 GS/s
Sine freq. range	120 MHz	300 MHz	250 MHz	100 MHz
Nb of outputs	2	4	2	2
Range in V	$\pm 5$ V	$\pm 12$ V	$\pm 2.5$ V	$\pm 5$ V
Cost	$\sim 8$ k	$\sim 12$ k	$\sim 14$ k	$\sim 7$ k

*P. Paganini,  
O. Drapier,  
T. Mueller,  
B. Quilain*

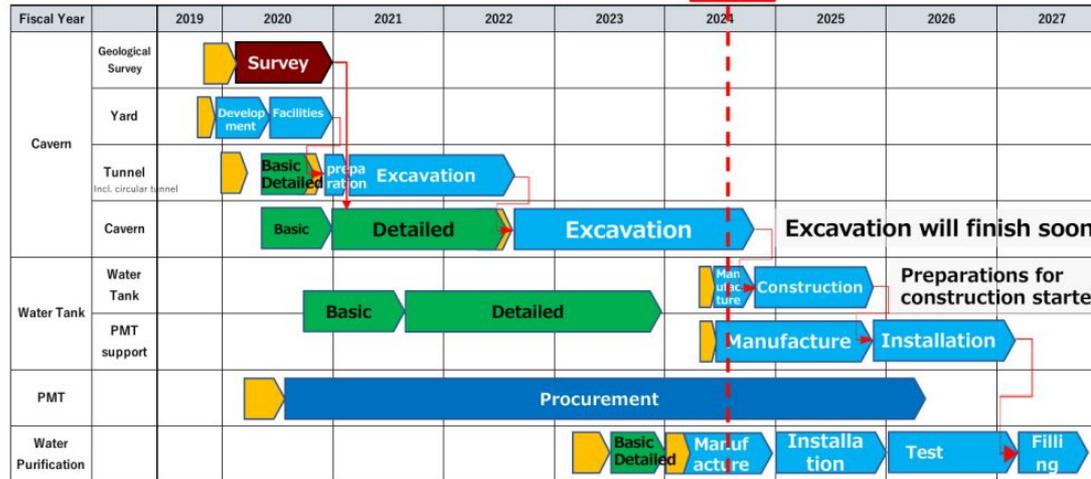


Ecriture du PUMA en cours (O. Drapier et al.) : deadline le 30/11.

# Construction HK - Calendrier



**Now**



-  Contract
-  Design
-  Construction
-  Procurement

**Operation**

Calendrier proposé en juin 2024 au MEXT et approuvé en août



# Construction HK - Statut 2024 - Excavation

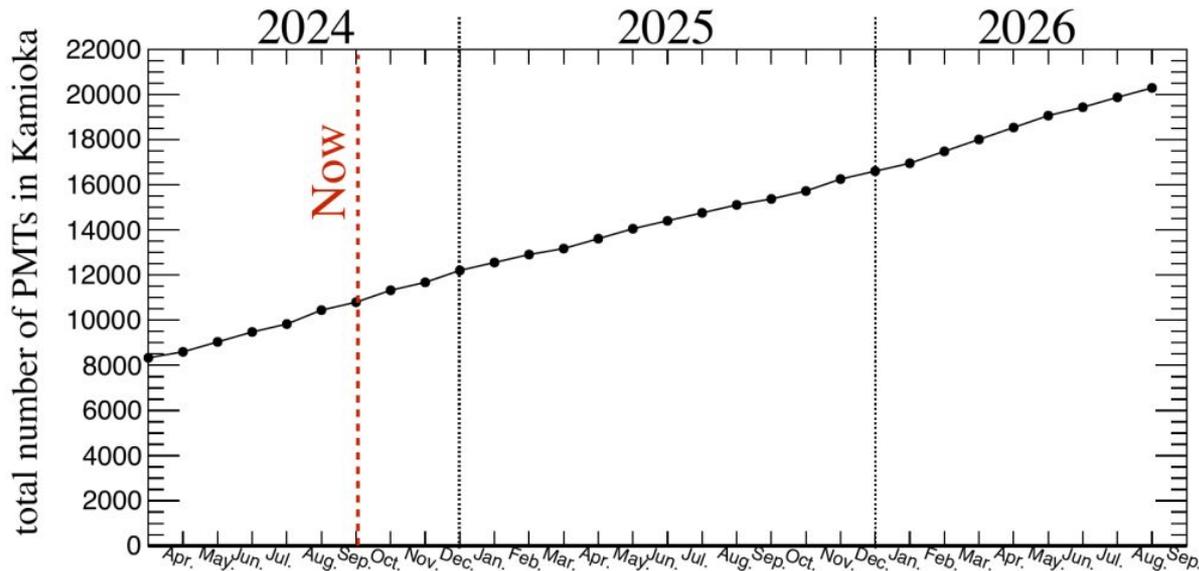


# Construction HK - Statut 2024 - PMTs

Tous les PMTs sont testés @ Hamamatsu & Kamioka (20500)

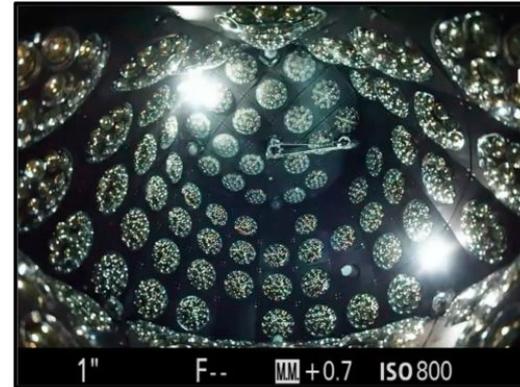
→ shifts réalisés par toute la collaboration

Octobre 2024, > 50% des PMTs de HK (10493) produits et testés / validés → le calendrier est respecté



# Construction HK - Statut 2024 - WCTE

- L'assemblage mécanique du détecteur & moniteurs faisceaux finalisé  $\Rightarrow$  1ère calibration moniteurs faisceaux terminée
- Détecteur en commissioning :
  - les shifts ont commencés (forte participation IN2P3 / LLR)
  - calibration mPMTs & électronique
  - manque encore les cartes concentratrices & leur intégration dans la DAQ  $\Rightarrow$  DAQ temporaire utilisée
- Données de physique d'ici 1 semaine !



# Production scientifique

## Bilan des Publications 2019-2024 du groupe neutrino

Expérience	Articles	dont peer-reviewed	Conference papers
Super-Kamiokande	28	25	29
T2K, WAGASCI, BM, N280 upgrade	21	20	61
Hyper-Kamiokande	5	4	38

### Highlights :

1. K. Abe et al. [T2K collab.] “Constraint on the matter–antimatter symmetry-violating phase in neutrino oscillations”, Nature 580 (2020) no.7803, 339-344 [erratum: Nature 583 (2020) no.7814, E16]
2. K. Abe et al. [T2K collab.] “Simultaneous measurement of the muon neutrino charged-current cross section on oxygen and carbon without pions in the final state at T2K”, Phys. Rev. D 101, 112004 (2020)
3. K. Abe et al. [T2K collab.] “Measurements of numu and numu+antinumu charged-current cross-sections without detected pions or protons on water and hydrocarbon at a mean anti-neutrino energy of 0.86 GeV”, PTEP 2021 (2021) no.4, 043C01
4. K. Abe et al. [SK collab.] “Diffuse supernova neutrino background search at Super-Kamiokande”, Phys. Rev. D 104 (2021) no.12, 122002
5. K. Abe et al. [T2K collab. & SK collab.] “First joint oscillation analysis of Super-Kamiokande atmospheric and T2K accelerator neutrino data”, arXiv:2405.12488 [hep-ex], accepted by PRL