



Tourniquet Section 01
05 Novembre 2018



Groupe Neutrino

Bilan 2013-2018



M. Buizza Avanzini



Composition actuelle du groupe

- 5 permanents :
 - **Margherita Buizza Avanzini** (CR), **Olivier Drapier** (DR), **Michel Gonin*** (DR), **Thomas Mueller** (CR), **Pascal Paganini** (DR)
- 3 doctorants :
 - **Olivier Volcy**
 - Directeur de thèse: T. Mueller (HDR prévue en 2020)
 - soutenance prévue en 2019 (Mesures de sections efficaces dans Wagasci)
 - **Qinhua Huang**
 - Directeur de thèse: O. Drapier (en codirection de thèse avec Strasbourg)
 - soutenance prévue en 2019 (TT de JUNO: simulation et algorithme acquisition)
 - **Alice Coffani**
 - Directeur de thèse: M. Gonin
 - soutenance prévue en 2021 (Observation du fond diffus de neutrinos de supernovae dans Super-Kamiokande)
- 2 postdocs :
 - **Stephen Dolan** (postdoc P2IO à partir du 01/10/17)
 - Cross section dans T2K, simulations ND280 upgrade
 - **Sonia El Hedri** (postdoc Ecole Polytechnique (2 mois), puis IN2P3 à partir du 01/09/18)
 - astronomie neutrino entre théorie et expérience

Evolutions récentes:

- 1 permanents :
 - **P. Paganini** (DR) rejoint le groupe en fin 2017 (avant sur CMS)
- 2 thèses soutenues :
 - **B. Quilain** (en decembre 2014 avec directeur de thèse O. Drapier) – T2K/Ingrid (→ Postdoc à IPMU (WPI), University of Tokyo (Japan))
 - **M. Licciardi** (en septembre 2018 avec directeur de thèse M. Gonin) – T2K/Wagasci
- 1 postdoc :
 - **James Imber**
 - postdoc IN2P3 (2 ans)+ Ecole Polytechnique (6 mois) en 2014-2017 sur T2K -> Simulation et analyse de données radar, German Aerospace Center (DLR), Brême, Allemagne

Organisation-fonctionnement du groupe

T2K

HK

SK

Permanent
Post-doc
Doctorant

O. Volcy

P. Paganini

M. Gonin

S. Dolan

O. Drapier

S. El-Hedri

M. Buizza Avanzini

A. Coffani

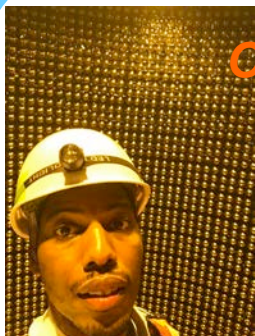
J
U
N
O

T. Mueller

Q. Huang

Organisation-fonctionnement du groupe

T2K



O. Volcy

S. Dolan



M. Buizza Avanzini



T. Mueller

HK



M. Gonin



O. Drapier

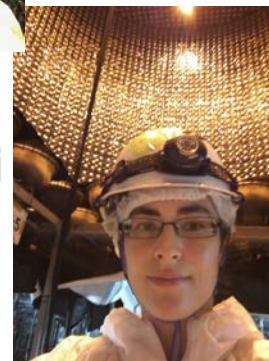


SK



P. Paganini

S. El-Hedri



A. Coffani



Permanent
Post-doc
Doctorant

J
U
N
O

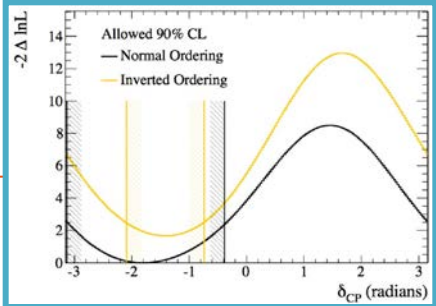
Q. Huang



Faits marquants

- Découverte de l'apparition des neutrinos-électroniques (à plus de 7.3σ) par l'expérience T2K
- 2014: Premières prises de données avec des anti- ν_μ dans l'expérience T2K = premier pas vers une estimation de δ_{CP} dans le secteur des leptons. $\delta_{CP} = 0$ (conservation de CP) exclu à 2σ .
- 2016: Démarrage du détecteur WAGASCI (l'un des détecteurs proches de T2K) et premières mesures des sections efficaces des neutrinos sur l'eau.
- 2017: Premier groupe Français (et le seul à ce jour) à rejoindre la collaboration Super-Kamiokande.
- 2018: Upgrade du détecteur Super-Kamiokande avec la vidange de la cuve d'eau et diverses réparations en vue de l'ajout de Gadolinium.
- 2018: publication du Design Report de Hyper-Kamiokande. Date du début de la construction de Hyper-Kamiokande fixée : avril 2020

Production Scientifique - Analyses de Physique -



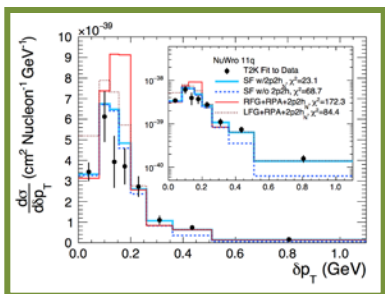
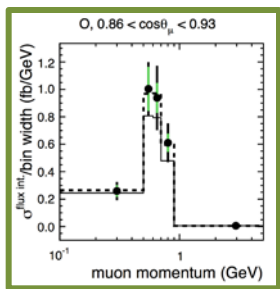
T2K: Analyse d'oscillation
2 publications

SAMPLE	PREDICTED				OBSERVED
	$\delta_{CP}=-\pi/2$	$\delta_{CP}=0$	$\delta_{CP}=\pi/2$	$\delta_{CP}=\pi$	
FHC 1R μ	268.5	268.2	268.5	268.9	243
RHC 1R μ	95.5	95.3	95.5	95.8	102
FHC 1Re 0 decay-e	73.8	61.6	50.0	62.2	75
FHC 1Re 1 decay-e	6.9	6.0	4.9	5.8	15
RHC 1Re 0 decay-e	11.8	13.4	14.9	13.2	9

T2K-SK:
Simulation
«hybrid- π^0 »

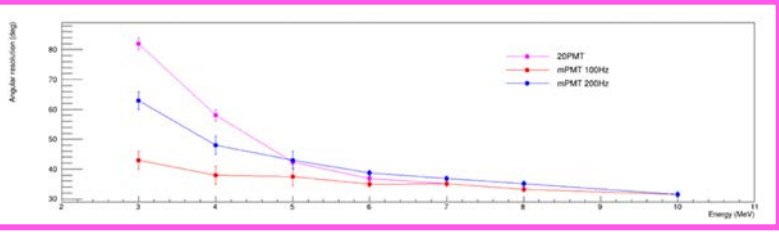
SK : Participation
au working
groupe «low

Search for
**Lorentz and
CPT violation**
with INGRID – 1
publication



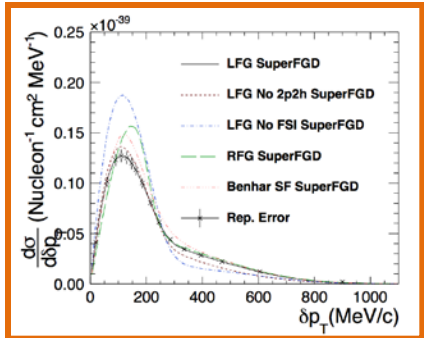
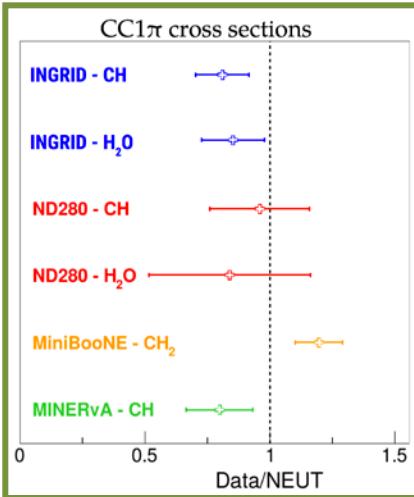
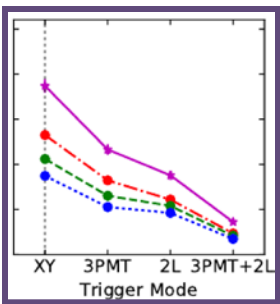
**T2K: Analyses de sections
efficaces aux détecteurs proches:**
2 publications + 3 prévues.
MBA and SD co-responsables de 2
groupes de travail: suivent ~
toutes les publications xsec

ND280 Upgrade: Etude de
sensibilité du SuperFGD pour
mesure de xsec (TDR)



**HK: simulation LPMT
vs hybrid-PMT**

Simulation du TT et
du système SPMT
de **JUNO**



Production Scientifique

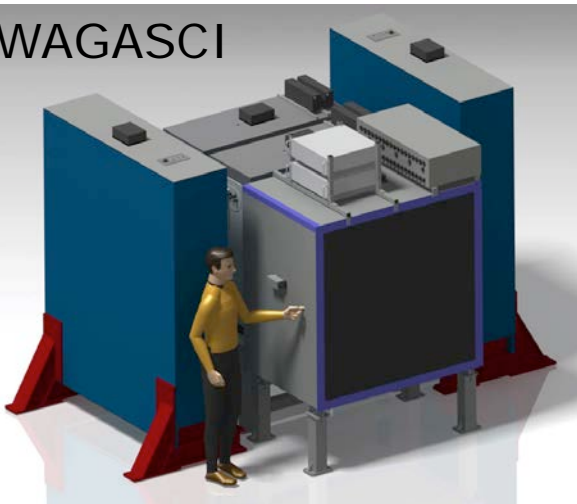
- Contributions techniques – T2K

électronique

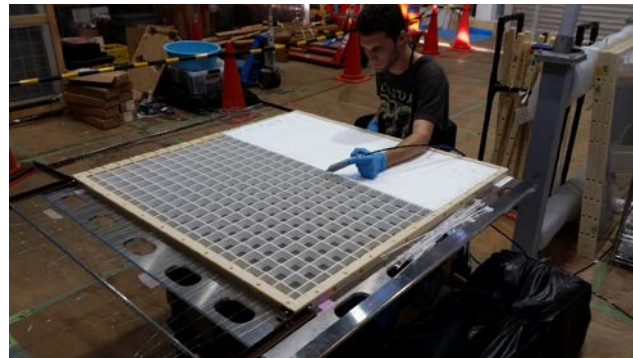
- WAGASCI** (premier upgrade du détecteur proche de T2K)
But: mesure de sections efficaces sur carbone et eau pour réduire les systématiques des expériences «long baseline»
- conception mécanique,
 - études de physique par Monte-Carlo,
 - développement des procédures d'installation
 - Participation a l'installation
 - développement de la chaîne d'acquisition basée sur le système mis au point au laboratoire pour CALICE



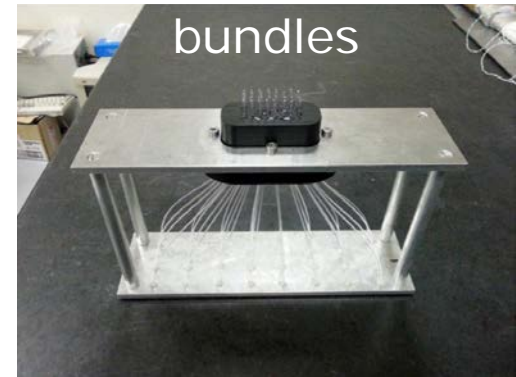
WAGASCI



Grid de scintillateur



bundles



Production Scientifique

- Contributions techniques - SK

Nouveau projet bénéficiant du support de l'IN2P3 et du support financier de l'École polytechnique pour de l'équipement (140 000 euros sur 2 ans)



- 2018** • Modules PS-HV iseg EHS-F030p 16 canaux, 25% des OD PMTs
- Fourniture de matériels pour les réparations du tank (tyvek, cables etc.)
- 2019** • Filtres du système de purification de l'eau

Production scientifique

- Bilan des Publications 2013-2018 du groupe Neutrino

2018 : Première publication dans Super-Kamiokande et HyperKamiokande

1. Search for Neutrinos in Super-Kamiokande Associated with the GW170817 Neutron-star Merger. Super-Kamiokande Collaboration. *Astrophys. J.* 857 (2018) no.1, L4

SEARCH FOR NEUTRINOS IN SUPER-KAMIOKANDE ASSOCIATED WITH THE GW170817
NEUTRON-STAR MERGER

K. ABE^{1,37}, C. BRONNER¹, Y. HAYATO^{1,37}, M. IKEDA¹, K. IYOGI¹, J. KAMEDA^{1,37}, Y. KATO^{1,37}, Y. KISHIMOTO^{1,37},
LL. MARTI¹, M. MIURA^{1,37}, S. MORIYAMA^{1,37}, M. NAKAHATA^{1,37}, Y. NAKAJIMA¹, Y. NAKANO¹, S. NAKAYAMA^{1,37}, A. ORII¹,
G. PRONOST¹, H. SEKIYA^{1,37}, M. SHIOZAWA^{1,37}, Y. SONODA¹, A. TAKEDA^{1,37}, A. TAKENAKA^{1,37}, H. TANAKA¹, S. TASAKA¹,
T. YANO¹, R. AKUTSU², T. KAJITA^{2,37}, Y. NISHIMURA², K. OKUMURA^{2,37}, K. M. TSUI², L. LABARGA³, P. FERNANDEZ³,
F. D. M. BLASZCZYK⁴, C. KACHULIS⁴, E. KEARNS^{4,37}, J. L. RAAP⁴, J. L. STONE^{4,37}, L. R. SULAK⁴, S. BERKMAN⁵,
S. TOBAYAMA⁵, J. BIAN⁶, M. ELNIMR⁶, W. R. KROPP⁶, S. LOCKE⁶, S. MINE⁶, P. WEATHERLY⁶, M. B. SMY^{6,37},
H. W. SOBEL^{6,37}, V. TAKHISTOV^{6,†}, K. S. GANEZER⁷, J. HILG⁷, J. T. KIM⁸, I. T. LIM⁸, R. G. FALK⁸, Z. LI⁹,
E. O'SULLIVAN⁹, K. SCHOLBERG^{9,37}, C. W. WALTER^{9,37}, M. GONIN¹⁰, J. IMBER¹⁰, TH. A. MUELLER¹⁰, T. ISHIZUKA¹¹,
T. NAKAMURA¹², J. S. JANG¹³, K. CHOI¹⁴, J. G. LEARNED¹⁴, S. MATSUNO¹⁴, J. AMET¹⁵, R. P. LITCHFIELD¹⁵, W. Y. MA¹⁵,
Y. UCHIDA¹⁵, M. O. WASCKO¹⁵, M. G. CATANESI¹⁶, R. A. INTONTI¹⁶, E. RADICIONI¹⁶, G. DE ROSA¹⁷, A. ALI¹⁸,
G. COLLAZUOL¹⁸, L. LUDOVICI¹⁹, S. CAO²⁰, M. FRIEND²⁰, T. HASEGAWA²⁰, T. ISHIDA²⁰, T. ISHII²⁰, T. KOBAYASHI²⁰,
T. NAKADAIRA²⁰, K. NAKAMURA^{20,42}, Y. OYAMA²⁰, K. SAKASHITA²⁰, T. SEKIGUCHI²⁰, T. TSUKAMOTO²⁰, KE. ABE²¹,
M. HASEGAWA²¹, A. T. SUZUKI²¹, Y. TAKEUCHI^{21,42}, T. HAYASHINO²², S. HIROTA²², M. JIANG²², M. MORI²²,
KE. NAKAMURA²², T. NAKAYA^{22,42}, R. A. WENDELL^{22,42}, L. H. V. ANTHONY²³, N. MCCAULEY²³, A. PRITCHARD²³,
Y. FUKUDA²⁴, Y. ITOW^{25,26}, M. MURASE²⁵, F. MUTO²⁵, P. MIJAKOWSKI²⁷, K. FRANKIEWICZ²⁷, C. K. JUNG²⁸, X. LI²⁸,
J. L. PALOMINO²⁸, G. SANTUCCI²⁸, C. VIELA²⁸, M. J. WILKING²⁸, C. YANAGISAWA^{28,†}, D. FUKUDA²⁹, H. ISHINO²⁹, S. ITO²⁹,
A. KIBAYASHI²⁹, Y. KOSHIO^{29,42}, H. NAGATA²⁹, M. SAKUDA²⁹, C. XU²⁹, Y. KUNO³⁰, D. WARK^{31,37}, F. DI LODOVICO³²,
B. RICHARDS³², S. MOLINA SEDGWICK³², R. TACIK^{33,46}, S. B. KIM³⁴, A. COLE³⁵, L. THOMPSON³⁵, H. OKAZAWA³⁶,
Y. CHOI³⁸, K. ITO³⁹, K. NISHIJIMA³⁹, M. KOSHIBA⁴⁰, Y. SUDA⁴¹, M. YOKOYAMA^{41,42}, R. G. CALLAND⁴², M. HARTZ⁴²,
K. MARTENS⁴², M. MURDOCH⁴², B. QUILAIN⁴², C. SIMPSON^{42,31}, Y. SUZUKI⁴², M. R. VAGINS^{42,6}, D. HAMABE⁴³, M. KUZE⁴³,
Y. OKAJIMA⁴³, T. YOSHIDA⁴³, M. ISHITSUKA⁴⁴, J. F. MARTIN⁴⁵, C. M. NANTAIS⁴⁵, H. A. TANAKA⁴⁵, T. TOWSTEGO⁴⁵,
A. KONAKA⁴⁶, S. CHEN⁴⁷, L. WAN⁴⁷, AND A. MINAMINO⁴⁸

(THE SUPER-KAMIOKANDE COLLABORATION)

¹Kamioka Observatory, Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo, Kamioka, Gifu 506-1205, Japan

²Research Center for Cosmic Neutrinos, Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo, Kashiwa, Chiba 277-8582, Japan

³Department of Theoretical Physics, University Autonoma Madrid, 28049 Madrid, Spain

⁴Department of Physics, Boston University, Boston, MA 02215, USA

⁵Department of Physics and Astronomy, University of British Columbia, Vancouver, BC, V6T1Z4, Canada

⁶Department of Physics and Astronomy, University of California, Irvine, Irvine, CA 92697-4575, USA

⁷Department of Physics, California State University, Dominguez Hills, Carson, CA 90747, USA

⁸Department of Physics, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

⁹Department of Physics, Duke University, Durham NC 27708, USA

¹⁰Ecole Polytechnique, IN2P3-CNRS, Laboratoire Leprince-Ringuet, F-91120 Palaiseau, France

¹¹Junior College, Fukuoka Institute of Technology, Fukuoka, Fukuoka 811-0295, Japan

¹²Department of Physics, Gifu University, Gifu, Gifu 501-1193, Japan

2. Hyper-Kamiokande Design Report, [arXiv: 1805.04163](https://arxiv.org/abs/1805.04163)

Production scientifique

- Bilan des Publications 2013-2018 du groupe Neutrino

30 publications dans les derniers 5 ans

Actuellement deux papiers « T2K cross section » en préparation + 7 analyses approuvées (donc prête pour publication)

Oscillation related

1. Measurement of neutrino and antineutrino oscillations by the T2K experiment including a new additional sample of nue interactions at the far detector, Phys. Rev. D 96, 092006 (2017)
2. Updated T2K measurements of muon neutrino and antineutrino disappearance using $1.5E21$ protons on target, Phys. Rev. D96 (2017), 011102
3. First Combined Analysis of Neutrino and Antineutrino Oscillations at T2K Phys. Rev. Lett. 118 (2017), 151801
4. Precise Measurement of the Neutrino Mixing Parameter θ_{23} from Muon Neutrino Disappearance in an Off-axis Beam, Phys. Rev. Lett. 112 (2014) 181801
5. Observation of Electron Neutrino Appearance in a Muon Neutrino Beam, Phys. Rev. Lett. 112 (2014) 061802

Conservation δ_{CP}
exclue a 90% CL

Production scientifique

- Bilan des Publications 2013-2018 du groupe Neutrino

30 publications dans les derniers 5 ans

Actuellement deux papiers « T2K cross section » en préparation + 7 analyses approuvées (donc prête pour publication)

INGRID related

1. Search for Lorentz and CPT violation using sidereal time dependence of neutrino flavor transitions over a short baseline, Phys. Rev. D95 (2017), 111101
2. Measurement of the muon neutrino inclusive charged-current cross section in the energy range of 1–3 GeV with the T2K INGRID detector, Phys.Rev. D93 (2016) no.7, 072002
3. Measurement of the numu charged current quasielastic cross section on carbon with the T2K on-axis neutrino beam. Phys. Rev. D91 (2015) 11, 112002
4. Measurement of the inclusive numu charged current cross section on iron and hydrocarbon in the T2K on-axis neutrino beam, Phys. Rev. D90 (2014) 052010

Production scientifique

- Bilan des Publications 2013-2018 du groupe Neutrino

~30 publications dans les derniers 5 ans

Actuellement deux papiers « T2K cross section » en préparation + 7 analyses approuvées (donc prête pour publication)

Cross section related

1. Measurement of inclusive double-differential ν_μ charged-current cross section with improved acceptance in the T2K off-axis near detector, Phys. Rev. D 98, 012004 (2018)

4 π selection

2. Characterization of nuclear effects in muon-neutrino scattering on hydrocarbon with a measurement of final-state kinematics and correlations in charged-current interactions at T2K, Phys. Rev. D 98, 032003 (2018)

1st measurement in STV!

3. First measurement of the ν_μ charged-current cross section on C_8H_8 without pions in the final state, Phys. Rev. D 97, 012001 (2018)

1st measurement of CCQE like channel on water!

4. Measurement of double-differential muon neutrino charged-current interactions on C_8H_8 without pions in the final state using a likelihood fit, Phys. Rev. D 93, 112012 (2016)

1st time we use a likelihood fitter for xsec extraction in T2K!

Visibilité et rayonnement

- ~ 25 présentations à des conférences et séminaires (membres, **doctorants**, **post doc**):
 - 2013: IWNDT, USA (M. Gonin)
 - 2014: NNN 14, France (M. Gonin, M. Buizza Avanzini), ICNFP2014, Crete, Grece (**B. Quilain**)
 - 2015: Séminaire général à l'Ecole Polytechnique sur les neutrinos (M. Gonin), Blois2015 (**B. Quilain**)
 - 2016: ICHEP2016 (M. Gonin); NNN16, Beijing (**J. Imber**); DBD16, Osaka (**J. Imber**)
 - 2017: PPC17, USA (M. Gonin); 3rd Workshop on Neutrino Near Detectors based on gas TPCs, Tokai (**J. Imber**); FJPPL, Strasbourg (**M. Licciardi**)
 - 2018: NuPrint USA (**S. Dolan**); Modeling neutrino-nucleus interactions, Italie (**S. Dolan**); NOW2018, Italie (M. Buizza Avanzini); NuInt 2018, Italie (**S. Dolan**)

Organisation de colloques/congrès

1. Accueil du workshop annuel « *JUNO software* » au LLR, 1 semaine en 2016 (40 participants)

2. Organisation du *T2K cross section workshop* au GSSI (Italie), 2 jours en 2018 (25 participants)

Responsabilités (2013-2018)

M. Buizza Avanzini

Co-convenor of the SPMT simulation system in JUNO (sep 2017 – june 2018)

Co-convenor of CC0 π cross section subgroup in T2K (fev-aout 2018)

Co-convenor of the cross section group in T2K depuis aout 2018

S. Dolan

Co-convenor of CC0 π cross section subgroup in T2K depuis fevrier 2018

M. Gonin

Responsable IN2P3 pour l'expérience Super-Kamiokande depuis 2018

Responsable France de la proto-collaboration Hyper-Kamiokande depuis 2015

Responsable IN2P3 pour T2K depuis 2018

Convenor INGRID depuis 2008

J. Imber

Responsable de l'analyse conjointe apparition/disparition

T. Mueller

Convenor of electronics/DAQ and mechanical engineering for WAGASCI depuis 2015

P. Paganini

A venir pour Neutrino, cfr presentation CMS jusqu'à 2017

Responsabilités administratives et d'enseignement

- Enseignements:

- **O. Drapier**: Cours de physique nucléaire et cours de physique des particules à l'Ecole des Mines de Paris (40h)
- **M. Gonin**: Professeur à l'Ecole Polytechnique Cours Physique des Particules et Cours Energie et Environnement (Ecole Polytechnique)
- **T. Mueller**: "Aspects expérimentaux de la physique des hautes énergies », Ecole polytechnique, 36h/an depuis 2013; "Physique de la saveur" (partie neutrinos), 16h/an depuis 2013
- **P. Paganini**: professeur chargé de cours à l'école polytechnique: Petites classes de mécanique quantique en 1ere année du cycle ingénieur, enseignant du cours de physique des particules avancées en 3ieme année/M1

- Implications dans la vie de l'Université:

- **O. Drapier**: Examineur au concours d'admission à l'X (physique, ADS de physique)
- **M. Gonin**: directeur scientifique du concours d'admission à l'X depuis 2012
- **T. Mueller**: assistance à la direction du concours d'admission à l'X depuis 2013, membre du conseil du département P2I, Université Paris Saclay depuis 2016
- **P. Paganini**: Responsable du master de Physique de Hautes Énergies de l'École polytechnique/ETH-Zurich

Responsabilités administratives et d'enseignement

- Implications au niveau national:
 - **M. Gonin**: responsable national de SK depuis 2017 et T2K depuis 2018
- Implications dans la vie du laboratoire:
 - **M. Buizza Avanzini**: membre du CS du LLR depuis 2015
 - **O. Drapier**: président du CS du LLR depuis 2015, responsable communication jusqu'en 2015, membre du conseil de laboratoire,
 - **T. Mueller**: membre du Conseil de laboratoire depuis 2015, Personne Compétente en Radioprotection depuis 2012
 - **P. Paganini**: directeur adjoint du LLR depuis 2013
- Demandes et gestion de supports financiers spécifiques:
 - Financements Ecole Polytechnique: WAGASCI (50keuros), Super Kamiokande (140kEuros), post docs (1 année)
 - Financements Labex P2IO: post doc (100kEuros), demande en cours pour 55kEuros

Projet scientifique

LLR-Neutrino fortement impliqué dans les projets Neutrino au Japon
Fort potentiel de découvertes majeures (δ_{CP} , DSNB, SN)

T2K: déjà très actifs dans le groupe «cross section».
continuer analyses des données des détecteurs proches, fondamental
pour toutes les expériences LBL

T2K-II (2021-2026) -> établir la violation de CP à 3σ
Continuer l'étude optimisation/potentiel de physique du SuperFGD
Développer les cartes "Front-End" de lecture du SuperFGD

SK: forte implication du LLR dans l'upgrade (équipement + 10 semaines de shift réparation). Objectif: attaquer l'analyse des données avec Gd (rajouté à partir de 2019)! DSNB, SN, multi-messagers! Découverte majeure dans les prochaines années

HK: désormais approuvé. Commencement des travaux en 2020.
Possibilité de participer au développement de l'électronique des PMTs
20 pouces (avec LPNHE!)

Evolution du groupe à venir

(FTE estimés)

Ressources humaines IN2P3 engagées en 2018* :

Laboratoire	Responsable Scientifique	Chercheurs (Nb/ETP)	ITA (Nb/ETP)	Postdocs	Doctorants
LLR	M. Gonin	5 / 5	2/1	1	3

Ressources humaines IN2P3 en 2019 :

Laboratoire	Responsable Scientifique	Chercheurs (Nb/ETP)	ITA (Nb/ETP)	Postdocs	Doctorants
LLR	M. Gonin	5 / 5	2/1	2	3

Demands prioritaires Chercheurs (non incluses dans le tableau):

1 entrée CR pour Hyper-K et T2K-II

Demands prioritaires ITA: 1 ingénieur électronique pour T2K-II et Hyper-K (avec LPNHE)

Auto analyse du groupe

Points forts:

1. Coherence du programme pour les 10 années a venir
2. détecteur INGRID: fondamental pour T2K
3. mesure des sections efficaces des neutrinos sur eau et carbone (WAGSCI)
4. Expertise technique (mécanique, électronique, informatique on-line) permettant le développement des nouveaux détecteurs
5. Coordinations de groupe d'analyses (xsec and oscillation) dans T2K

Opportunités:

1. Sensibilité envisageable à la violation de CP dans le secteur des leptons.
2. Transition vers des expériences neutrinos long base line (HyperK etc.)
3. Avec l'entrée dans SK, ouverture vers l'astronomie neutrinos/cosmologie
4. Construction de HyperKamiokande désormais fixée en 2020

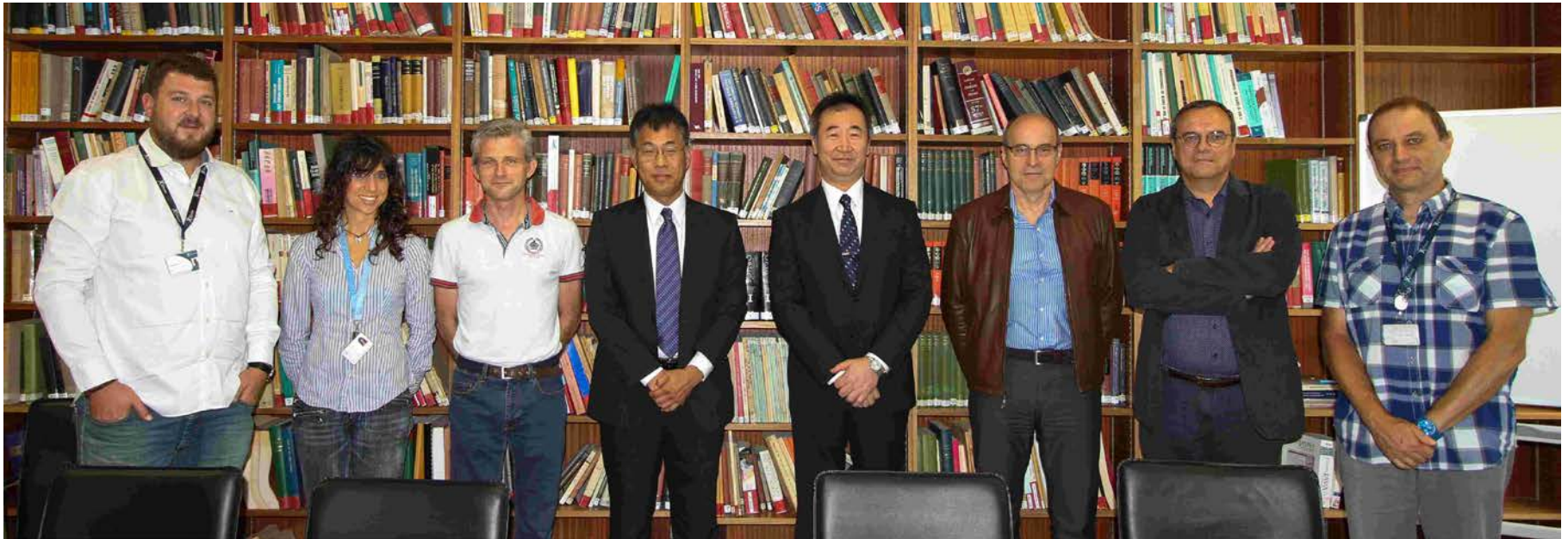
Points faibles:

1. Relations institutionnelles atypiques (absence de MoU par ex).
2. Eloignement des sites des expériences/réunions de collaborations

Risques:

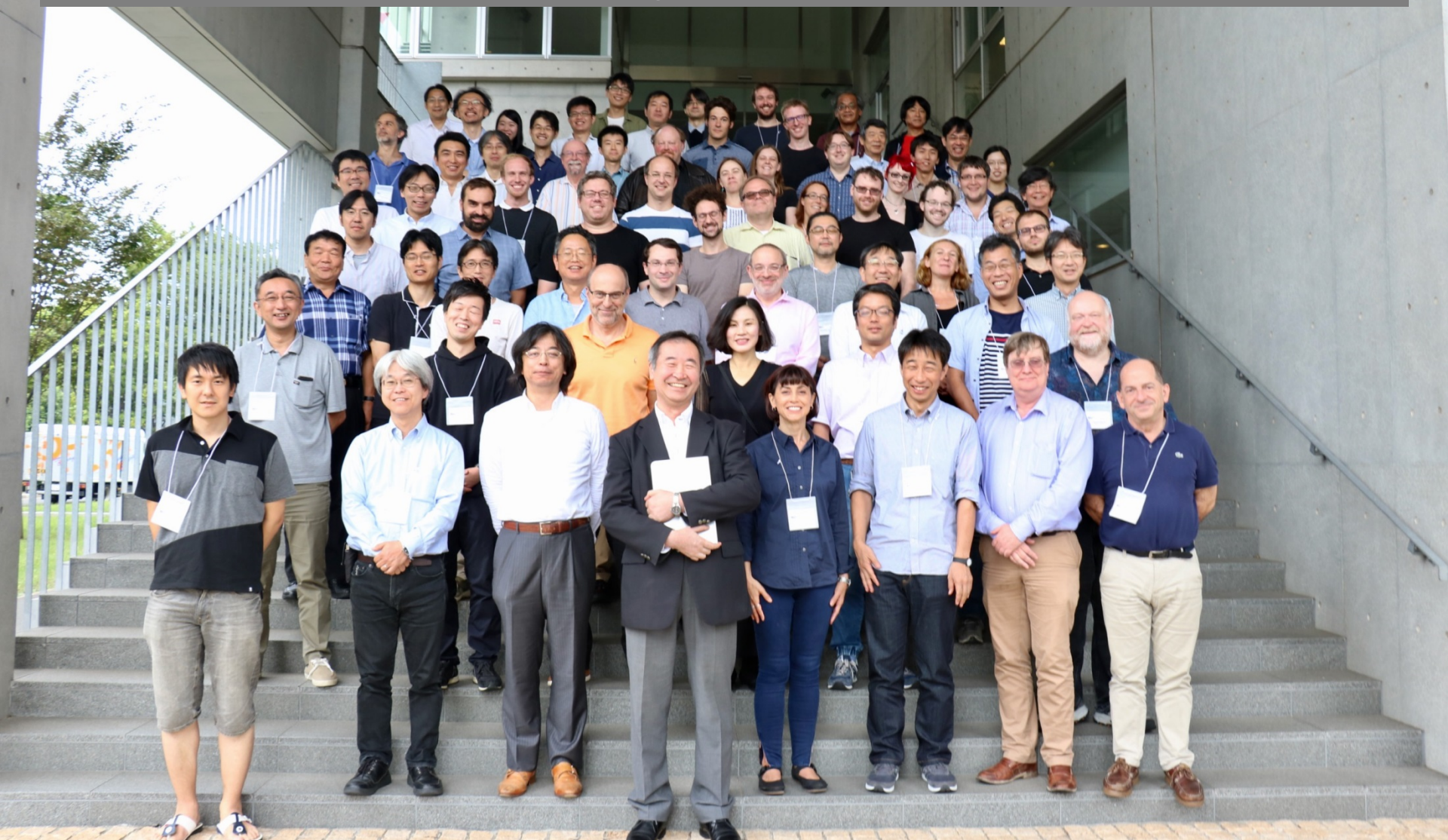
1. Problème en cas de diminution du budget japonais pour T2K-II
2. Budget IN2P3 insuffisant pour une participation significative à l'upgrade de ND280
3. Risque de tremblement de terre
4. Risque de fuite dans SK pouvant impacter le programme avec Gd

Visite de Kajita au LLR et Ecole Polytechnique 07/09/2018



Tourniquet Section 01 du
Laboratoire - 05/11/2018

Réunion de collaboration Hyper-K, Kashiwa, Septembre 2018



Tourniquet Section 01 du
Laboratoire - 05/11/2018

Production Scientifique

- Analyses de Physique -

T2K

- **Ingrid**: Search for Lorentz and CPT violation with Ingrid (B. Quilain)- 1 publication
- **Analyse d'oscillation** (J. Imber) – 2 publications
- **ND280**: Analyses de sections efficaces (M. Buizza Avanzini, S. Dolan) – 2 publications, plus une 3eme prevue l'an prochain
- **WAGASCI**: Analyses de sections efficaces (M. Licciardi, O. Volcy) – 1ere analyse prete a etre publiee, 2eme le sera certainement
- **ND280 Upgrade**: Etude de sensibilite du SuperFGD pour mesure de section efficaces (S. Dolan)
- **MBA and SD** sont co-responsables de deux groupes de travail des sections efficaces et de facto suivent actuellement toutes les publications cross sections de l'experience (internal reviewer, PB reviewer or publication commette)
- **T2K-SK**: Simulation « hybrid-pi0 » (T. Mueller)

SK

Activite commencee recemment. Participation au working groupe « low energy » (T. Mueller, S. El-Hedri, A. Coffani, P. Paganini)