# Rapport d’activités : Janvier 2020 - Décembre 2021

## Intitulé de l’équipe

Neutrino

## Membres de l’équipe

Chercheurs et doctorants :

Pierre Billoir

Adrien Blanchet

Alain Blondel

Jacques Dumarchez

Claudio Giganti

Mathieu Guigue

Jean-Michel Lévy

Marco Martini

Lucile Mellet

Viet Nguyen

Boris Popov

Sergey Suvorov

Uladzislava Yevarouskaya

Marco Zito

Equipe Technique :

Julien Coridian

Sébastien Lefèvre

Yann Orain

Jean-Marc Parraud

Julien Philippe

Eric Pierre

Stefano Russo

Diego Terront

François Toussenel

Vincent Voisin

## Les faits, résultats et réalisations marquant(e)s

Avril 2020 : publication dans la revue "Nature" d'une contrainte à 3 sur la phase de violation de la symétrie CP dans les oscillations de neutrinos avec l'expérience T2K

Avril 2020 : Lancement de la construction de l'expérience HyperKamiokande au Japon

Novembre 2020 : Approbation finale du projet T2K-II assortie d'une perspective de prise de données de 4 mois par an entre 2022 et 2027

Avril 2021 : Création d'un laboratoire commun entre le CNRS et l'Université de Tokyo. L'un de ses sujets principaux concerne les neutrinos.

## Chiffres clés

T2K: ~5% , c’est le faible niveau d’incertitude systématique sur les flux de neutrinos atteint dans T2K grâce à la prise en compte des mesures dédiées de hadroproduction dans NA61/SHINE

T2K-II: 84 cartes électroniques de front-end ont été produites et testées pour la jouvence de ND280

HK: 105 événements pourraient être détectés dans HK si une supernova

explosait dans le Centre Galactique (à environ 10 kpc de distance)

## Titre de l’article dans le rapport d’activités

Une nouvelle ère de précision en physique des neutrinos: de T2K à HK

## Rapport d’activités

Le groupe LPNHE-neutrino (Photo1) poursuit sa participation active à l'expérience T2K en contribuant à l'exploitation du détecteur proche (ND280), au développement des algorithmes de reconstruction et à l'analyse des données ainsi qu'à la préparation de publications scientifiques. Le groupe joue également un rôle de premier plan dans la mise à niveau du détecteur ND280 et dans la partie du programme scientifique de l'expérience NA61/SHINE au CERN relative aux neutrinos.

Des résultats très importants ont été obtenus et publiés au cours des deux dernières années. En particulier, profitant de l'analyse combinée de l'apparition de e dans un faisceau de  et de bar(e) dans un faisceau de bar() ainsi que de la disparition des  et des bar(), la collaboration T2K a publié dans la revue "Nature" (Fig.1) de nouveaux résultats excluant certaines régions possibles pour la phase de violation de CP CP à 3, voir Fig.2. La valeur de CP la plus probable dans cette analyse est proche de -/2, ce qui correspond à la violation maximale de la symétrie CP. Si cela était confirmé, cela permettrait une découverte précoce de la violation de CP dans le secteur des leptons dans le cadre du projet T2K-II d'abord, mais surtout de Hyper-Kamiokande.

C'est grâce à la réduction des incertitudes systématiques dans T2K que ce résultat a été possible. De plus, de nouveaux résultats de la production de hadrons de la cible-réplique de T2K, publiés par la collaboration NA61/SHINE, ont été utilisés pour réduire davantage les incertitudes du flux d'(anti-)neutrinos dans T2K, jusqu'à environ 5%, ce qui est sans précédent pour les expériences de neutrinos produits par accélérateur. Cette amélioration est également importante pour les mesures précises des sections efficaces d'interaction des neutrinos, autre source importante d'incertitude systématique.

La deuxième étape de l'expérience, T2K-II, récemment approuvée au Japon, permettra de pousser plus loin ces améliorations par l'adjonction de nouveaux détecteurs dans ND280. Dans ce cadre, le groupe du LPNHE assure un rôle de coordination pour la mise à niveau du ND280 et contribue au développement et à la production de l'électronique de lecture pour les nouvelles chambres à projection temporelle dites à grand angle (HA-TPC), c'est-à-dire permettant la mesure des traces de particules chargées à grand angle par rapport à la direction du faisceau, traces sur lesquelles le ND280 initial était inefficace.

La contribution technique apportée par l'équipe du LPNHE s'est tout d'abord centrée sur la conception et la fabrication des cartes front-end (FEC) qui seront connectées au plus proche des capteurs des nouvelles TPC. Chaque carte FEC reçoit les signaux provenant du capteur (détecteur Micromegas) via les 576 voies d'entrée analogiques à faibles niveaux, les met en forme et les mémorise par le biais de 8 circuits Asic dédiés. Après réception d'un signal de déclenchement externe correspondant à un événement significatif, les signaux analogiques mémorisés sont numérisés sur 12 bits et transmis à l'électronique d'acquisition. Le design de ces cartes a été approuvé en octobre 2020 lors d'une revue d'experts de la collaboration. La production des 84 unités nécessaires est assurée par l'entreprise sous-traitante Ouestronic, dans laquelle un banc de test dédié a été installé pour valider les cartes après fabrication (Photo2). La production s'est étalée de fin 2020 à l'automne 2021. Les tests en faisceau sur un module complet (détecteur Micromegas + électronique front-end associée), réalisés en juillet 2021 à DESY-Hambourg, ont permis de valider le fonctionnement de l'ensemble du module, notamment le comportement des cartes FEC soumises à un champ magnétique constant de 0,2 T. Le crosstalk entre voies a été mesuré inférieur à 3% dans tous les cas de figure. In fine 64 cartes FEC équiperont les nouvelles TPC pour un total de 36864 voies de mesure. Les 20 cartes supplémentaires serviront de réserve pour la maintenance ainsi que pour équiper les différents bancs de test de la collaboration.

En second lieu l'équipe du LPNHE a participé, en collaboration avec l'équipe du CEA-Saclay, au design du capotage de refroidissement de ces cartes FEC et a procédé au suivi de leur production. Ces capots, fixés sur chacune des cartes FEC et usinés en aluminium Fortal, effectuent un couplage thermique avec les composants des cartes FEC émettant le plus de chaleur. Ils sont refroidis grâce à un serpentin, plaqué au capot et dans lequel circule de l'eau refroidie. La fabrication a porté sur un total de 80 pièces et a démarré par un premier lot de 8 pièces usinées au LPNHE au début de l'année 2021. L'entreprise sous-traitante Chanteloup-Associés a été sélectionnée pour l'usinage des 72 autres capots et soldera la production pour la fin de l'année 2021.

Le dernier élément de la contribution technique de l'équipe du LPNHE porte sur le développement software de l'acquisition des données (DAQ). Dans le cadre du module électronique backend TDCM (Trigger and Data Concentrator Module), toutes les fonctions de configuration et de lecture, la concentration de données et le contrôle de l'interface avant et arrière, sont des activités coordonnées par l'intermédiation d'un module logiciel embarqué initié au CEA-Saclay, proposant un serveur de commandes qui interagit comme intermédiaire entre le micro-logiciel de la TDCM et la DAQ. Ce logiciel est actuellement limité à un seul processeur et en mode "baremetal" (sans système d'exploitation). Nous avons choisi de faire une proposition d'évolution vers un système hétérogène, Linux embarqué et "baremetal", supportant deux processeurs et intégrant des nouveaux mécanismes de coordination pour l'activation du processeur supplémentaire et pour la communication de messages entre les deux processeurs, appuyé sur une technologie récente du monde embarqué nommée OpenAMP, qui permet justement de traiter efficacement cette hétérogénéité pour des solutions multiprocesseurs.

Pour l’acquisition des données proprement dite, le LPNHE a pris la responsabilité de développer l’interface entre les concentrateurs de signaux numériques et l’enregistrement des données dans le cadre logiciel Midas. Ce programme a été testé avec succès lors des deux tests sur faisceaux réalisés à DESY (en juillet 2021) et au CERN (en novembre 2021) et a vocation à devenir le programme d’acquisition qui sera déployé lors de la mise en service des nouvelles HA-TPC.

L'installation du détecteur ND280 amélioré se fera en 2022, parallèlement à la modernisation du complexe d'accélérateurs J-PARC. Avant le début de l'exploitation du détecteur de nouvelle génération Hyper-Kamiokande, en 2027, nous prévoyons d'accumuler au moins 1022 p.o.t. (protons sur cible), ce qui permettrait de confirmer à 3 l'indication de violation maximale de la symétrie CP présente dans nos données actuelles.

Hyper-Kamiokande (Fig.3) sera non seulement le projet le plus sensible pour les mesures de la violation de CP, mais sera également un observatoire unique pour les neutrinos provenant de sources astrophysiques (permettant certaines synergies avec d'autres groupes du LPNHE) et pour la désintégration des protons. Le projet Hyper-Kamiokande -- approuvé par le gouvernement japonais -- est maintenant pleinement lançé, avec le début de la construction des infrastructures (tunnel d’accès et caverne) dès avril 2020. Le groupe du LPNHE a défini ses contributions potentielles à cette expérience autour du développement d’un système de distribution d'horloge et de synchronisation temporelle pour l'ensemble des photo-multiplicateurs (il y en aura jusqu'à 40.000 dans la version maximale).

Après une phase de R&D, la collaboration devrait trancher sur les différentes technologies et projets alternatifs proposés pour le détecteur. Dans ce cadre, le groupe LPNHE-HK coordonne les efforts de définition de la base de temps et de distribution de l'horloge. Cette partie est au cœur du détecteur puisqu'elle synchronise tous les modules frontaux qui lisent le signal des PMTs en établissant une base de temps commune. Le même système de distribution du temps sera utilisé pour déclencher les événements générés par l'accélérateur grâce à sa connexion au temps universel (UTC) acquis à partir des constellations de satellites de navigation tels que GPS et GALILEO.

Le système proposé peut être divisé en 3 parties. La première est composée d'une série d'horloges atomiques et de récepteurs GNSS (Global Navigation Satellite System) qui génèrent la base de temps locale de l'expérience en accord avec le temps UTC. L'horloge commune est intégrée dans les données de contrôle en utilisant la technique de récupération d'horloge et de données. Cette base de temps et les données associées sont ensuite distribuées à tous les modules de lecture au moyen d'un réseau de cartes de distribution. Cette méthode est très efficace car elle permet d'échanger des données et une horloge en utilisant un seul support de transmission tout en garantissant de très bonnes performances en termes de gigue et de stabilité de phase. La création du système de génération de base de temps est le fruit d'une collaboration du LPNHE et du laboratoire des SYstèmes de Référence Temps-Espace (SYRTE) de l'Observatoire de Paris., le laboratoire de référence pour les activités de métrologies sur le temps et les fréquences en France et dans le monde. Avec l’installation d’une antenne GNSS à Jussieu, la stabilité du système global constitué d'horloges atomiques et des antennes sera caractérisée en utilisant notamment une horloge Maser à Hydrogène Passive plus stable et le temps UTC(OP) provenant du SYRTE par un lien optique White Rabbit. Les premiers tests et caractérisations sont en cours.

Au-delà de la caractérisation fine des oscillations de neutrinos, à laquelle s’attache le groupe depuis plus de 10 ans dans T2K, Hyper-Kamiokande nous permettra d’élargir nos champs d’investigation, avec en particulier l’étude des neutrinos de supernovae et les études astrophysiques en mode dit multi-messager.

## Expertise

*Pour chaque service, un court article sera mis en avant dans la mise en page avec les expertises dans un carré de couleur par exemple. Texte de 300 à 500 caractères mettant en avant les expertises et les réalisations possibles grâce à elles. Ne pas hésiter à mettre en avant des aspects multi-services par exemple.*

## Publications, communications, responsabilités

### Publications

*Listez les publications sur la période du rapac. Merci de fournir la liste directement au format bibtex (EXPERIENCE.bib) et au format PDF en précisant systématiquement la référence arXiv. Vous trouverez des exemples du format attendu ici :* [*http://lpnhe.in2p3.fr/spip.php?article1526*](http://lpnhe.in2p3.fr/spip.php?article1526)

*Attention, votre fichier PDF ira directement sur la page web.*

### Communications à des conférences

*Listez les contributions en conférences (talks et posters) sur la période du rapac. Ajoutez des lignes si nécessaire.*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Prénom Nom | Titre | Conférence | Ville/Pays | Mois/année |
| Claudio Giganti | The TPCs of the T2K experiment | New Horizons in TPCs | Santander/Espagne | Octobre/2020 |
| Claudio Giganti | The TPCs of the T2K experiment | P2IO BSM Nu first workshop | Saclay/France | Février/2021 |
| Marco Martini | Nuclear models for LBL and 0nbb: synergies | P2IO BSM-Nu first workshop | Saclay/France | Février/2021 |
| Mathieu Guigue | The T2K Experiment: Status, Results and Prospects | XIX International Workshop on Neutrino Telescopes | Venise/Italie | Février/2021 |
| Sergey Suvorov | Performance of the Time Projection Chambers with resistive  MicroMegas of the T2K near detector upgrade | XIX International Workshop on Neutrino Telescopes | Venise/Italie | Février/2021 |
| Uladzislava Yevarouskaya | Measurements of the deposited energy resolution  of a resistive Micromegas module for the TPC of the T2K Near Detector upgrade | Le Congrès des Doctorant·e·s Déconfiné·e·s | Paris/France | Juillet/2021 |
| Viet Nguyen | Physics studies for ND280 upgrade in T2K experiment | NuFact 2021 | Cagliari/Italie | Septembre/2021 |
| Adrien Blanchet | Recent results from the T2K experiment | 32nd Rencontres de Blois | Blois/France | Octobre/2021 |
| Sergey Suvorov | The T2K near detector upgrade | 32nd Rencontres de Blois | Blois/France | Octobre/2021 |
| Lucile Mellet | Analysis and R&D preparation for Hyper-Kamiokande experiment  towards precise measurement of neutrino oscillation parameters | JRJC | La Rochelle/France | Octobre/2021 |

### Séminaires

*Listez les séminaires donnés sur la période du rapac. Ajouter des lignes si nécessaire.*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Prénom Nom | Titre | Labo/Institution/Ville | Date (JJ/MM/AA) |
| Boris Popov | NA61/SHINE hadron production measurements for T2K | DLNP/JINR/Dubna | 05/21 |
| Claudio Giganti | Recent results from T2K and plans for T2K-II and Hyper-Kamiokande | CPPM/Marseille | 02/21 |
| Marco Martini | Electroweak excitations of nuclear systems:  from neutrino cross sections to astrophysical phenomena | IP2I/Lyon | 06/21 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

### Interventions dans des écoles thématiques

*Listez les interventions dans les écoles thématiques. Ajouter des lignes si nécessaire.*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Prénom Nom | Titre | Nom de l’école | Lieu | Date (JJ/MM/AA) |
| Pierre Billoir | lecture on tracking algorithms | GDR "Intensity Frontier" | Paris | 11/21 |
| Adrien Blanchet | T2K latest oscillation analysis and cross section results  and sensitivity studies for T2K-SK | IRN Neutrinos | Paris | 12/21 |
| Mathieu Guigue | Computing model for T2K and HK | IRN Neutrinos | Paris | 12/21 |
| Sergey Suvorov | Performances of resistive Micromegas for the T2K ND280  Upgrade | IRN Neutrinos | Paris | 12/21 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

### Organisation de conférences et d’écoles thématiques

*Listez les participations au SOC, LOC de conférences ou d’écoles thématiques. Ajouter des lignes si nécessaire.*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Prénom Nom | Fonction (organisateur, chair du comité, etc.) | | Nom de la conf. ou de l’école | Lieu | Date( JJ/MM/AA) |
| Marco Martini | organisateur | | NuFact Conference | Calgliari/Italie | 09/21 |
| Jacques Dumarchez | Organisateur | Moriond EW 2020 | | La Thuile / Italie | Annulé | |
| Jacques Dumarchez | Organisateur | Moriond QCD 2020 | | La Thuile / Italie | Annulé | |
| Jacques Dumarchez | Chair | Moriond Cosmo 2020 | | La Thuile / Italie | Annulé | |
| Jacques Dumarchez | Organisateur | Blois 2020 | | Blois / France | Annulé | |
| Jacques Dumarchez | Organisateur | Vietnam 2020 neutrinos | | Quy Nhon / Vietnam | Annulé | |
| Jacques Dumarchez | Chair | Moriond Grav 2021 | | online | 03/2021 | |
| Jacques Dumarchez | Organisateur | Moriond EW 2021 | | online | 03/2021 | |
| Jacques Dumarchez | Organisateur | Moriond QCD 2021 | | online | 03/2021 | |
| Jacques Dumarchez | Organisateur | Blois 2021 | | Blois / France | 10/2021 | |

### Edition d’actes de conférences

*Lister les actes de conférences éditées sur la période couverte par le rapac. Ajouter des lignes si nécessaire.*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Prénom Nom | Titre | Conférence | Ville/Pays | Mois/année |
| Jacques Dumarchez | 55th Rencontres de Moriond: Electroweak Interactions and Unified Theories | Moriond EW | online | 03/2021 |
| Jacques Dumarchez | 55th Rencontres de Moriond: QCD and High Energy Interactions | Moriond QCD | online | 03/2021 |
| Jacques Dumarchez | 55th Rencontres de Moriond: Gravitation | Moriond Grav | online | 03/2021 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

### Responsabilités dans les comités d’évaluation, dans les instances scientifiques et techniques

*Listez les responsabilités dans les instances (CoNRS, CSI, etc.), dans les collaborations (responsable de working group, etc.). Ajouter des lignes si nécessaire.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Prénom Nom | Fonction | Année(s) |
| Claudio Giganti | ND280-upgrade project leader | 2019 - |
| Claudio Giganti | T2K PI IN2P3 | 2021 - |
| Claudio Giganti | HK near detector co-convener | 2021 - |
| Claudio Giganti | Membre élu du T2K Executive Committee | 2021 - |
| Claudio Giganti | Membre élu du CS du LPNHE | 2020 - |
| Jacques Dumarchez | Membre du T2K-International Board | 2009 - |
| Jacques Dumarchez | HK near detector co-convener | 2021 - |
| Mathieu Guigue | ND280-upgrade reconstruction co-convener | 2019 - |
| Mathieu Guigue | HK computing co-convener | 2021 - |
| Mathieu Guigue | Membre élu du Conseil du Laboratoire LPNHE | 2021 - |
| Boris Popov | NA61/SHINE: coordinateur de l’analyse pour T2K | 2012 - |
| Boris Popov | NA61/SHINE PI IN2P3 | 2018 - |
| Boris Popov | NA61/SHINE Coordinateur des ressources financières | 2021 - |
| Marco Martini | Membre du NuSTEC Board |  |

### Responsabilités dans les instances d’enseignements

*Listez les responsabilités dans les instances (CNU, Universités, ED, CS d’UFR, etc.). Ajouter des lignes si nécessaire.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Prénom Nom | Fonction | Année(s) |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

### Distinctions

*Listez les prix et distinctions obtenus. Ajouter des lignes si nécessaire.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Prénom Nom | Distinction | Année |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

### Conférences grand public

*Listez les conférences grand public (Fête de la science, etc.) données sur la période du rapac. Ajouter des lignes si nécessaire.*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Prénom Nom | Titre | Manifestation | Lieu | Date |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

### Activités de vulgarisation

*Listez les interventions de vulgarisation (Conférences NEPAL, lycées/collèges, émissions radio/TV, interviews ou articles dans les revues « grand public »), les réalisations de vulgarisation (vidéos pédagogiques, etc.). Ajouter des lignes si nécessaire.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Prénom Nom | Description de l’activité | Date |
| Boris Popov | Article en russe pour le JINR-Dubna newpaper  T2K experiment: new results on the search for CP violation in the lepton sector via neutrino and antineutrino oscillations | 04/2020 |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

### Thèses et HDR soutenues

*Listez les thèses et HDR soutenues sur la période du rapac. Ajouter des lignes si nécessaire.*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Prénom Nom | Titre | Thèse ou HDR | Date (JJ/MM/AA) |
| Stefano Russo | An example of evolution of digital electronics in physics experiments | HDR | 02/2021 |
| Marco Martini | Electroweak excitations of nuclear systems: from neutrino cross sections to astrophysical  phenomena | HDR | 16/12/2020 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

## Photos

*Les photos occupent une place importante dans le rapac. A chaque édition, un effort non négligeable est fourni pour renouveler les photos pour chaque activité/expérience. Si vous disposez d’images récentes de bonne qualité (JPEG, 300 ppp), n’hésitez pas à les mettre à disposition du comité de rédaction ! Vous avez également la possibilité de donner des liens vers des sites web où sont disponibles des images. Pour que les illustrations soient utilisables, il faut une légende, un copyright et une résolution suffisante. Je sais que certain.e.s ont des trésors cachés, partagez les ! Même si ça ne sert pas pour le rapac immédiatement, l’expérience des 50 ans du laboratoire, nous a montré l’importance des archives photos.*

*Vous pouvez contacter me contacter sans hésiter : melissa.ridel@lpnhe.in2p3.fr*