

## Rapport d'activités : Juillet 2017 – Décembre 2019

### Intitulé de l'équipe

Neutrinos

### Membres de l'équipe

#### Chercheurs et doctorants :

Bernard Andrieu  
Simon Bienstock  
Alain Blondel  
Jacques Dumarchez  
Claudio Giganti  
Mathieu Guigue  
Jean-Michel Levy  
Viet Nguyen  
Matej Pavin  
Boris Popov  
Ciro Riccio  
Marco Zito

#### Equipe Technique :

William Ceria  
Yann Orain  
Jean-Marc Parraud  
Julien Philippe  
Eric Pierre  
Stefano Russo  
Diego Terront  
François Toussanel

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

Janvier 2019:

publication de la mesure de la production de hadrons sur une cible réplique de celle de T2K par la collaboration NA61/SHINE: ces résultats ont permis la réduction des incertitudes sur le flux de (anti-)neutrinos dans T2K au niveau de 5%, un niveau jamais atteint jusque là dans une expérience de neutrinos sur accélérateur.

Octobre 2019:

Obtention d'une contrainte à 3 sigmas sur la phase de violation de CP dans les oscillations de neutrinos par l'expérience T2K

Décembre 2019:

Approbation du projet Hyper-Kamiokande par le gouvernement japonais

## Chiffres clés

T2K a accumulé  $3 \times 10^{21}$  protons sur cible en mai 2019

T2K-II: 2 millions de cubes scintillants comme nouvelle cible pour les neutrinos

HK: 260 000 tonnes d'eau pour la nouvelle génération de détecteur Cherenkov à eau

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

|   |
|---|
| De T2K à HK : la quête de la violation de CP dans le secteur leptonique |
|---|

## Rapport d'activités

*Illustrations* - Merci de fournir au plus deux illustrations (photo ou plot). Plots au format PDF. Photos au format JPEG résolution 300 ppp. Chaque illustration (sauf photo de groupe) devra être accompagnée d'une légende. Merci de ne pas insérer les illustrations dans le texte ci-dessous, mais de les joindre dans des fichiers séparés. Les fichiers devront être nommés selon le format suivant : « EXPERIENCE\_FIG\_[numéro].[jpg/pdf] » pour les plots/photos et EXPERIENCE\_LEG.txt pour les légendes. Dans le fichier des légendes, donner le nom du fichier, la description, et pour les photos le détenteur du copyright éventuel.

Le groupe neutrino du LBNL, engagé dans l'expérience T2K depuis 2006, continue à y participer activement en veillant au bon fonctionnement du détecteur proche ND280, au développement du software, au calibrage et à l'analyse des données ainsi qu'à la préparation des publications. Le groupe joue aussi un rôle clé dans le projet d'amélioration de ND280 ainsi que dans la partie 'neutrinos' de l'expérience NA61/SHINE.

Dans l'expérience T2K, installée au Japon, un faisceau de neutrinos ou d'antineutrinos de type muonique est produit au centre de recherche J-PARC (Tokai), sur la côte Est du Japon et envoyé en direction du détecteur souterrain géant Super-Kamiokande (SK), 295 km plus loin. De très importants résultats ont été obtenus et publiés ces dernières années. Ils concernent en particulier la première mise en évidence d'une apparition de neutrinos électroniques dans un faisceau de neutrinos muoniques. Malgré une intensité de faisceau encore éloignée de l'intensité nominale (500 kW vs 750 kW), la collaboration accumule des données depuis plusieurs années en neutrinos et anti-neutrinos alternativement et en combinant récemment les analyses d'apparition de neutrinos et d'antineutrinos électroniques ainsi que les analyses de disparition des neutrinos et antineutrinos muoniques, la collaboration a été à même de publier dans le journal 'Nature' des résultats excluant certaines zones de l'ensemble des valeurs possibles de  $\delta_{CP}$  (cf. Fig. 1) à trois écarts-standard:  $\delta_{CP}$  est le paramètre mesurant le degré de violation de la symétrie CP. La valeur qui ajuste au mieux ce paramètre est proche de  $-\pi/2$ , correspondant à une violation maximale de CP. Pour affiner ce résultat, il ne suffit pas de continuer à accumuler des données. Les limitations identifiées des détecteurs actuels se traduisent en effet par des incertitudes systématiques dominantes et elles ont conduit la collaboration à s'engager dans un programme d'amélioration majeur du détecteur proche ND280. Cet 'upgrade' va consister à introduire une nouvelle cible pour les neutrinos, constituée de 2 millions de cubes scintillants d'1 cm<sup>3</sup> et à compléter l'acceptance à grand angle en installant deux nouvelles chambres à projection temporelle (HA-TPC). Dans ce cadre-là, le groupe joue un rôle de coordination et contribue au développement et à la production de l'électronique de lecture des nouvelles TPC. Les premières maquettes de cartes de front-end, n'intégrant que quelques fonctionnalités ciblées, ont été réalisées et testées en 2019, afin notamment de valider le choix d'une nouvelle connectique : liaisons carte à carte par connecteurs à technologie "flottante". Suite à cette validation, les premiers prototypes entièrement fonctionnels ont été fabriqués fin 2019. Les tests réalisés début de l'année 2020, en collaboration avec l'Irfu-Saclay, ont donné des résultats extrêmement positifs en vue du lancement de la production des 80 cartes prévu fin 2020 pour l'upgrade du détecteur.

En parallèle, le groupe contribue également de manière active sur deux autres aspects de cet upgrade : d'une part au développement du software de contrôle-commandes qui servira à monitorer le détecteur, d'autre part à la définition des modifications mécaniques devant être apportées au berceau du détecteur ND280, incluant la problématique des contraintes sismiques inhérentes au lieu d'implantation de l'expérience.

L'installation de la nouvelle version du détecteur ND280 aura lieu en 2021, parallèlement à la rénovation du complexe d'accélérateurs de J-PARC destinée à augmenter significativement l'intensité des faisceaux de neutrinos à 750 kW, puis 1 MW et à plus long terme 1.3 MW. L'expérience projetée d'accumuler au moins  $10^{22}$  protons sur cible avant 2026 et la mise en service du détecteur de nouvelle génération Hyper-Kamiokande. Cette expérience, appelée T2K-II, bénéficiera non seulement de la réduction des incertitudes systématiques liées au détecteur proche, mais aussi des avancées de l'expérience NA61/SHINE à laquelle le groupe contribue également: utilisant une réplique de la cible de T2K, NA61/SHINE a publié récemment de nouveaux résultats de hadroproduction d'une grande importance pour arriver à réduire les incertitudes sur les flux de (anti-)neutrinos dans T2K aux environs de 5%, valeur sans précédent pour des neutrinos d'accélérateur. Outre les paramètres d'oscillation, cette réduction est également importante pour une mesure précise des sections efficaces d'interaction des neutrinos.

La sensibilité de T2K-II devrait permettre de mesurer une violation de CP à 3 sigmas si celle-ci était maximale ( $\delta_{CP} = -\pi/2$ ), mais une vraie découverte (à 5 sigmas) nécessitera le recours à une nouvelle génération d'expérience d'oscillation de neutrinos à grande distance: Hyper-Kamiokande.

Le projet HK (Fig.2) a reçu fin 2019 l'approbation du gouvernement japonais et la collaboration se structure pour démarrer la construction dès 2020. Outre qu'il s'agira du détecteur le plus sensible pour la mesure de la violation de CP, Hyper-Kamiokande, avec 8 fois plus de masse fiducielle que SK, sera aussi un observatoire unique pour l'étude de neutrinos de sources astrophysiques et pour celle de la désintégration du proton. Le groupe du LPNHE a déjà défini des contributions techniques potentielles à l'expérience et démarre une phase de R&D pour 2020-2021. Une des contributions serait le développement d'un système de distribution d'horloge et de synchronisation pour un ensemble pouvant compter jusqu'à 40000 photomultiplicateurs, système qui permettra de réduire l'incertitude temporelle à moins d'une nanoseconde. Cette maîtrise de la certification du temps est un atout majeur pour les études astrophysiques dites en multi-messager, menée conjointement avec d'autres observatoires, comme ceux de l'astronomie gamma, CTA par exemple dans lequel une autre équipe du LPNHE est engagée.

Le nouveau détecteur lointain d'Hyper-Kamiokande sera aussi équipé de modules composés de plusieurs photomultiplicateurs de plus petite taille (mPMT) à hauteur de plusieurs milliers. L'intégration de tels détecteurs avec un seuil en détection plus faible et une meilleure reconstruction temporelle permettra d'améliorer la détection des neutrinos de plus faible énergie comme les neutrinos de supernovae ou bien les neutrinos solaires. Une étape importante pour le développement des prototypes de ces modules est la caractérisation de leurs performances dans l'eau. Pour réaliser ces mesures, l'installation Memphyno à l'APC est mise à contribution ; ce dispositif est composé d'une cuve à eau de 8 m<sup>3</sup> pouvant accueillir plusieurs mPMTs et de deux plans de scintillateurs permettant de détecter le passage de muons cosmiques. Un soutien obtenu de la part de Sorbonne Université nous permettra d'accueillir plusieurs prototypes. Des mesures ont d'ailleurs déjà été effectuées fin 2019 avec un prototype italien et ont permis de produire des premières caractérisations de ce prototype.

## Publications, communications, responsabilités

## Publications

Listez les publications sur la période du rapac. Merci de fournir la liste directement au format bibtex (*EXPERIENCE.bib*) en précisant systématiquement la référence arXiv. Vous trouverez des exemples du format attendu ici : <https://lpnhe.in2p3.fr/spip.php?article1237>

## 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 | 52nd Rencontres de Moriond: Electroweak Interactions and Unified Theories | Moriond EW           | La Thuile / Italie | 03/2017    |
| Jacques Dumarchez | 52nd Rencontres de Moriond: QCD and High Energy Interactions              | Moriond QCD          | La Thuile / Italie | 03/2017    |
| Jacques Dumarchez | 52nd Rencontres de Moriond: Electroweak Interactions and Unified Theories | Moriond EW           | La Thuile / Italie | 03/2017    |
| Jacques Dumarchez | 52nd Rencontres de Moriond: Very High Energy Phenomena in the Universe    | Moriond VHEPU        | La Thuile / Italie | 03/2017    |
| Jacques Dumarchez | 52nd Rencontres de Moriond: Gravitation                                   | Moriond Grav         | La Thuile / Italie | 03/2017    |
| Jacques Dumarchez | 53rd Rencontres de Moriond: Electroweak Interactions and Unified Theories | Moriond EW           | La Thuile / Italie | 03/2018    |
| Jacques Dumarchez | 53rd Rencontres de Moriond: QCD and High Energy Interactions              | Moriond QCD          | La Thuile / Italie | 03/2018    |
| Jacques Dumarchez | 53rd Rencontres de Moriond: Cosmology                                     | Moriond Cosmo        | La Thuile / Italie | 03/2018    |
| Jacques Dumarchez | 30th Rencontres de Blois : Particle Physics and Cosmology                 | Blois2018            | Blois / France     | 06/2018    |
| Jacques Dumarchez | 14th Rencontres du Vietnam : Windows on the Universe                      | Vietnam 2018 Windows | Quy Nhon / Vietnam | 09/2018    |
| Jacques Dumarchez | International Conference on History of the Neutrino                       | NeutHist 2018        | Paris / France     | 09/2018    |
| Jacques Dumarchez | 54th Rencontres de Moriond: Electroweak Interactions and Unified Theories | Moriond EW           | La Thuile / Italie | 03/2019    |

|                          |  |              |                    |         |
|--------------------------|--|--------------|--------------------|---------|
| <b>Jacques Dumarchez</b> | 54th Rencontres de Moriond: QCD and High Energy Interactions | Moriond EW   | La Thuile / Italie | 03/2019 |
| <b>Jacques Dumarchez</b> | 54th Rencontres de Moriond: Gravitation                      | Moriond Grav | La Thuile / Italie | 03/2019 |
| <b>Jacques Dumarchez</b> | 31st Rencontres de Blois : Particle Physics and Cosmology    | Blois2019    | Blois / France     | 06/2019 |
|                          |  |              |                    |         |

### 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 |
|------------------------|-------------------------|--|--------------------|------------|
| <b>Simon Bienstock</b> | Recent results from T2K | 13th Rencontres du Vietnam : Neutrinos | Quy Nhon / Vietnam | 07/2017    |
|                        |                         |  |                    |            |

## 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) |
|--------------------|---|------------------------|-----------------|
| <b>Boris Popov</b> | Recent results from T2K an NA61/SHINE experiments                                 | DNLP / JINR / Dubna    | 17/07/2019      |
| <b>Boris Popov</b> | Status of Japan-based accelerator neutrino program : from T2K to Hyper-Kamiokande | DNLP / JINR / Dubna    | 27/12/2019      |
|                    |   |                        |                 |

## 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) |
|------------|-------|----------------|------|-----------------|
|            |       |                |      |                 |
|            |       |                |      |                 |

## 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) |
|--------------------------|--|-------------------------------|--------------------|-----------------|
| <b>Jacques Dumarchez</b> | Organisateur                                   | Moriond EW 2017               | La Thuile / Italie | 03/2017         |
| <b>Jacques Dumarchez</b> | Organisateur                                   | Moriond QCD 2017              | La Thuile / Italie | 03/2017         |
| <b>Jacques Dumarchez</b> | Chair  | Moriond VHEPU 2017            | La Thuile / Italie | 03/2017         |
| <b>Jacques Dumarchez</b> | Chair  | Moriond Grav 2017             | La Thuile / Italie | 03/2017         |
| <b>Jacques Dumarchez</b> | Organisateur                                   | Blois 2017                    | Blois / France     | 06/2017         |
| <b>Jacques Dumarchez</b> | Chair  | Vietnam 2017 Cosmo            | Quy Nhon / Vietnam | 07/2017         |
| <b>Jacques Dumarchez</b> | Organisateur                                   | Vietnam 2017 Neutrinos        | Quy Nhon / Vietnam | 07/2017         |
| <b>Jacques Dumarchez</b> | Organisateur                                   | Moriond EW 2018               | La Thuile / Italie | 03/2018         |
| <b>Jacques Dumarchez</b> | Organisateur                                   | Moriond QCD 2018              | La Thuile / Italie | 03/2018         |
| <b>Jacques Dumarchez</b> | Organisateur                                   | Moriond Cosmo 2018            | La Thuile / Italie | 03/2018         |
| <b>Jacques Dumarchez</b> | Organisateur                                   | Blois 2018                    | Blois / France     | 06/2018         |
| <b>Jacques Dumarchez</b> | Chair  | Vietnam 2018                  | Quy Nhon /         | 08/2018         |

|                          |              |  |                    |         |
|--------------------------|--------------|--|--------------------|---------|
|                          |              | Windows                                    | Vietnam            |         |
| <b>Jacques Dumarchez</b> | Organisateur | Vietnam 2018 VHEPU                         | Quy Nhon / Vietnam | 08/2018 |
| <b>Jacques Dumarchez</b> | Organisateur | Neutrino History 2018                      | Paris / France     | 09/2018 |
| <b>Jacques Dumarchez</b> | Organisateur | Moriond EW 2019                            | La Thuile / Italie | 03/2019 |
| <b>Jacques Dumarchez</b> | Organisateur | Moriond QCD 2019                           | La Thuile / Italie | 03/2019 |
| <b>Jacques Dumarchez</b> | Chair        | Moriond Grav 2019                          | La Thuile / Italie | 03/2019 |
| <b>Jacques Dumarchez</b> | Organisateur | Blois 2019                                 | Blois / France     | 06/2019 |
| <b>Jacques Dumarchez</b> | Organisateur | Vietnam 2019<br>« 3 neutrinos and beyond » | Quy Nhon / Vietnam | 08/2019 |
| <b>Jacques Dumarchez</b> | Chair        | Vietnam 2019 Cosmo                         | Quy Nhon / Vietnam | 08/2019 |
|                          |              |  |                    |         |

### Responsabilités dans les instances scientifiques, techniques et d'enseignements

Listez les responsabilités dans les instances (CNU, CoNRS, Universités, ED, CSI, CS d'UFR, etc.), dans les collaborations (responsable de working group, etc.). Ajouter des lignes si nécessaire.

| Prénom Nom               | Fonction   | Année(s)    |
|--------------------------|--|-------------|
| <b>Claudio Giganti</b>   | Co-coordonateur de l'analyse d'oscillation dans T2K          | 2017-2018   |
| <b>Claudio Giganti</b>   | Responsable du projet ND280-upgrade                          | 2019 -      |
| <b>Marco Zito</b>        | Responsable du projet ND280-upgrade                          | 2017 - 2018 |
| <b>Jacques Dumarchez</b> | Membre du T2K publication board                              | 2017        |
| <b>Mathieu Guigue</b>    | Co-coordonateur du ND280-upgrade software                    | 2019 -      |
| <b>Boris Popov</b>       | Coordinateur de l'analyse des données de NA61/SHINE pour T2K | 2017 -      |
| <b>Boris Popov</b>       | Co-coordonateur du groupe faisceau de T2K                    | 2017-2018   |
| <b>Boris Popov</b>       | Membre du speaker's board de T2K                             | 2017-2018   |

### 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       |
|------------|--|--------------------|---------------|------------|
| Marco Zito | Les neutrinos dévoilent les secrets de la matière et des étoiles | Fête de la Science | Amphi Chrapak | 11/10/2018 |
|            |  |                    |               |            |

## 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                          |
|-------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Jacques Dumarchez | Fête de la Science au LPNHE | 10/2017<br>10/2018<br>10/2019 |
|                   |                             |                               |

## 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. Vous pouvez contacter me contacter sans hésiter : [melissa.ridel@lpnhe.in2p3.fr](mailto:melissa.ridel@lpnhe.in2p3.fr)