

# Compte rendu

---

Conseil scientifique de l'IN2P3  
26-27 octobre 2021

**Voté le 8 avril 2022**

**Annule et remplace**

le compte rendu du Conseil scientifique  
de l'IN2P3 des 26-27 octobre 2021  
voté le 16 décembre 2021

# Sommaire

<b>1. Introduction à la séance du 26-27 octobre</b> .....	<b>4</b>
1.1. Programme de la session ouverte .....	4
<b>2. Super-Kamiokande et T2K</b> .....	<b>4</b>
2.1. L'expérience T2K.....	4
2.2. L'expérience Super-Kamiokande .....	5
2.3. Participations de l'IN2P3 .....	5
2.4. Avis conjoint sur les expériences T2K et Super-Kamiokande .....	6
<b>3. Neutrinos de réacteurs : JUNO</b> .....	<b>6</b>
3.1. Présentation de JUNO .....	6
3.2. Participations de l'IN2P3 .....	7
3.3. Avis du Conseil .....	7
<b>4. Neutrinos atmosphériques : ORCA</b> .....	<b>8</b>
4.1. Description du projet.....	8
4.2. Participations de l'IN2P3 .....	9
4.3. Avis du Conseil .....	9
<b>5. Le projet DUNE</b> .....	<b>10</b>
5.1. Préambule.....	10
5.2. Description du projet.....	10
5.3. Avis du Conseil .....	12
5.4. Recommandations .....	14
5.5. Executive summary.....	15
<b>6. Evolution du projet Hyper-Kamiokande</b> .....	<b>16</b>
6.1. Description du projet.....	16
6.2. Contributions techniques proposées .....	17
6.3. Avis du Conseil .....	17
<b>7. Discussions internes au CSI</b> .....	<b>19</b>
7.1. Discussions avec la direction .....	19
7.2. Vie du Conseil .....	20

**Présents** : G. Brooijmans, H. Costantini, B. Cros, N. Chanon, O. Drapier, P. Janot, S. Escoffier-Martory, L. Fayard, B. Fernández Domínguez, V. Givaudan, S. Henrot-Versillé, D. Laporte, M. Lindroos, F. Marion, R. Maurice, N. Neyroud Gigleux, C. Nones, B. Ramstein, M. Rousseau, C. Smith, R. Trebossen, G. Verde, M. Yamouni, F. Yermia

**Invités** : P. Balcou (CS CNRS), J.-J. Hernandez-Rey (CS CNRS)

**Orateurs** : D. Autiero (IP2I), S. Bolognesi (IRFU), M. Buizza-Avanzini (LLR), F. Cavalier (IJCLab), D. Duchesneau (LAPP), C. Giganti (LPNHE), M. Guigue (LPNHE), A. Marchionni (Fermilab et LAPP), T. Mueller (LLR), M. Perrin-Terrin (CPPM), B. Quilain (LLR), M. Settimo (Subatech)

**Rapporteurs** : N. Besson (CEA / DPhP), A. De Roeck (CERN), M. Kado (Univ. Rome), F. Sanchez-Nieto (Univ. Genève )

**Membres présents de la direction** : S. Crépe-Renaudin. F. Farget, B. Giebels, R. Pain, L. Roos, L. Vacavant, P. Verdier

# 1. Introduction à la séance du 26-27 octobre

La séance du 26-27 octobre 2021 était dédiée à l'examen des grands projets neutrino à l'IN2P3. Cette séance s'est tenue en présentiel, avec retransmission en visioconférence (zoom).

## 1.1. Programme de la session ouverte

- 1) Introduction (S. Escoffier)
- 2) Neutrinos atmosphériques : Super-Kamiokande (T. Mueller)
- 3) Neutrinos produits par accélérateurs : T2K (M. Buizza-Avanzini, C. Giganti, B. Quilain)
- 4) Neutrinos de réacteurs : JUNO (M. Settimo)
- 6) Neutrinos atmosphériques : ORCA (M. Perrin-Terrin)
- 7) Introduction aux expériences de la prochaine génération (S. Bolognesi)
- 8) Le projet DUNE (A. Marchionni, D. Autiero, D. Duchesneau, F. Cavalier)
- 9) Evolution du projet Hyper-Kamiokande (M. Guigue)
- 10) Retour sur le colloque de restitution des perspectives (P. Verdier)

Toutes les présentations sont accessibles depuis la page web du CSI IN2P3 :

<https://www.in2p3.cnrs.fr/fr/le-conseil-scientifique-de-lin2p3>

Le présent compte rendu aborde spécifiquement les projets Super-Kamiokande et T2K (section 2), JUNO (section 3), ORCA (section 4), DUNE (section 5) et Hyper-Kamiokande (section 6). Les discussions internes au Conseil font l'objet de la section 7.

## 2. Super-Kamiokande et T2K

### 2.1. L'expérience T2K

Le projet Tokai to Kamioka (T2K) étudie les oscillations de neutrinos grâce à un faisceau de composition connue (neutrinos ou antineutrinos principalement de saveur muonique), produit à JPARC, et au détecteur Super-Kamiokande situé à Kamioka à une distance d'environ 300 km. Trois autres détecteurs proches de la source complètent le dispositif et permettent en outre des mesures précises des sections efficaces d'interaction des neutrinos. L'une des caractéristiques de T2K est d'être une expérience hors-axe, dont le faisceau est incliné de  $2.5^\circ$  par rapport à l'axe des détecteurs. Ceci permet, par le décalage du spectre en énergie ( $E$ ) des neutrinos qui découle de cet angle, de se placer au maximum d'oscillation (en  $L/E$ ) pour la distance fixe ( $L$ ) de 295 km.

Les objectifs principaux de T2K sont d'étudier les paramètres de mélange des neutrinos (angles et différences de masse), d'identifier l'ordre des masses (normal ou inverse), et d'obtenir le premier signal de violation de CP dans le secteur leptonique. Les analyses visent

aussi à contraindre d'éventuelles déviations par rapport à la description standard des mélanges de saveur (matrice unitaire PMNS).

Cette expérience a débuté en 2010 et a publié en 2013 la découverte de l'apparition de neutrinos  $\nu_e$  dans un faisceau de  $\nu_\mu$ . Elle fournit actuellement la meilleure détermination de l'angle de mélange  $\theta_{23}$  et détient également la meilleure indication d'une phase de violation de CP non nulle (à plus de 90% de probabilité), pour laquelle elle pourrait atteindre un signal à  $3\sigma$  d'ici 2027, lorsque Hyper-Kamiokande prendra le relais de Super-Kamiokande. T2K s'intéresse également aux mesures des sections efficaces d'interaction des neutrinos sur le carbone et sur l'eau, dans le but de contraindre les modèles prédisant les effets nucléaires, et d'améliorer ainsi la connaissance des incertitudes systématiques sur la mesure des paramètres d'oscillation. La connaissance du flux incident s'appuie aussi sur l'expérience NA61/SHINE au CERN, qui utilise une réplique de la cible de T2K. L'expérience T2K entrera dans sa seconde phase en 2023 avec une puissance de faisceau qui passera progressivement de 500 à 1300 kW (puissance prévue pour 2028), accompagnée d'une jouvence importante du détecteur proche ND280.

## 2.2. L'expérience Super-Kamiokande

Super-Kamiokande (SK) est un détecteur Čerenkov de 50 kt, situé à Kamioka à une profondeur d'environ 1000 m. Ce détecteur est en opération depuis 25 ans, et partage avec SNO la découverte initiale des oscillations de neutrinos à la fin des années 90, pour laquelle T. Kajita et A. McDonald ont obtenu le prix Nobel en 2015.

Ce détecteur a de nombreux objectifs. Il est utilisé en tandem avec JPARC dans l'expérience T2K décrite ci-dessus. Il sert aussi à détecter les neutrinos produits naturellement, que ce soit dans le Soleil, l'atmosphère terrestre ou les supernovæ. Finalement, il permet de rechercher des processus violant la conservation du nombre baryonique : oscillation neutron - antineutron et désintégration du proton, pour lesquels il fournit des limites parmi les plus strictes.

Actuellement, SK entre dans sa phase VI, qui devrait se terminer vers 2027, lors de la mise en service d'Hyper-Kamiokande. La phase actuelle verra la sensibilité du détecteur augmenter, tant en efficacité absolue de détection qu'en séparation entre neutrino et antineutrino, grâce à l'introduction d'un dopage au gadolinium. Ce dopage, qui a nécessité de sérieux travaux d'étanchéité, s'effectue par paliers et a commencé en 2020 pour atteindre 0,01% et une efficacité de capture des neutrons de 50%. La prochaine étape, prévue en 2022 avec un dopage à 0,03%, apportera une efficacité d'environ 75%. Un but ultime de 0,1% a été évoqué pour une augmentation de l'efficacité à 90%, mais sans calendrier précis.

## 2.3. Participations de l'IN2P3

Dans T2K, le personnel de l'IN2P3 (LLR, LPNHE, ILANCE) représente environ 12 physicien(ne)s permanent(e)s, deux post-doctorant(e)s et quatre doctorant(e)s, ainsi que quatre à six ingénieurs travaillant actuellement en tout ou partie sur la jouvence des détecteurs proches. Les équipes sont impliquées sur la prédiction des flux de neutrinos (via l'expérience NA61/SHINE à laquelle participe le LPNHE), la construction et le pilotage des détecteurs proches (INGRID, WAGASCI, ND280), et la jouvence du détecteur ND280. Dans ce développement, l'équipe du LPNHE est responsable des cartes d'électronique de proximité des deux nouvelles chambres à projection temporelle, qui utilisent les ASICs AFTER développés au CEA. Les équipes du LLR sont impliquées dans la conception, les tests et la

production des cartes de lecture du sous-détecteur Super-FGD, basées sur l'utilisation des ASICs CITIROC, conçus par le pôle OMEGA. Le développement de ces cartes s'effectue en collaboration étroite avec le groupe de l'Université de Genève. L'IN2P3 est impliqué au niveau financier dans cette opération de jeunesse, à hauteur de 650 k€ (investissement matériel).

Ces mêmes équipes sont aussi impliquées dans SK en tant qu'élément de T2K, mais aussi indépendamment pour ce qui est du LLR et de ILANCE. Ces deux équipes ont contribué de façon très significative aux travaux de réparation de SK qui ont précédé l'introduction du gadolinium. Du point de vue de l'analyse de données, les équipes de l'IN2P3 contribuent actuellement à l'étude des neutrinos atmosphériques et à la recherche du fond diffus de neutrinos de supernovæ (DSNB, « diffuse supernovae neutrino background »), ainsi qu'à la détermination des paramètres fondamentaux des neutrinos. En effet, les observables d'oscillation dépendent des paramètres de la matrice PMNS (angles, phase de violation de CP) et des masses des neutrinos (différences et ordre des masses). Les contraintes finales sur la matrice PMNS sont obtenues en combinant les données atmosphériques de SK et les données de T2K.

#### **2.4. Avis conjoint sur les expériences T2K et Super-Kamiokande**

Le Conseil salue le travail des équipes au sein de ces deux expériences, qui pourraient apporter les premières réponses à certaines des grandes questions encore ouvertes (phase de violation de CP, ordre des masses). SK offre de surcroît la perspective de découvrir ou de contraindre le fond diffus de neutrinos de supernovæ.

Le Conseil note que les évolutions de SK et T2K s'inscrivent pleinement dans la perspective de HK ; elles représentent des étapes dans un programme scientifique cohérent et de longue haleine. La transition de T2K et SK vers HK d'ici quelques années représentera sans doute une phase délicate. Il conviendra, le moment venu, de veiller à accompagner les équipes dans cette transition, notamment via un soutien approprié au niveau des ressources humaines.

### **3. Neutrinos de réacteurs : JUNO**

#### **3.1. Présentation de JUNO**

JUNO (Jiangmen Underground Neutrino Observatory) est un détecteur de neutrinos placé à 53 km des centrales nucléaires chinoises de Yangjiang et de Taishan, pour bénéficier de leur production d'anti- $\nu_e$ , dans un tunnel situé à 700 m de profondeur. La construction entre dans sa phase finale et l'installation du détecteur est prévue en 2022. Ce sera le plus grand détecteur à liquide scintillant (20 kt) au monde. L'objectif est d'obtenir une évidence ( $3\sigma$ ) sur l'ordre des masses des neutrinos après 6 ans de prise de données, avec une précision attendue sur l'énergie des neutrinos de 1% et une résolution de  $3\%/\sqrt{E/MeV}$ . JUNO permettra aussi des mesures compétitives des paramètres d'oscillation  $\theta_{12}$ ,  $\Delta m^2_{21}$ ,  $\Delta m^2_{31}$  (précision meilleure que le % dès la première année de prises de données), des neutrinos astrophysiques (supernovæ à effondrement de cœur ou fond diffus de neutrinos), ainsi que la recherche d'événements rares, comme les géo-neutrinos, la désintégration du proton, la matière noire et, potentiellement dans le futur, la double désintégration  $\beta$  sans émission de neutrino.

La collaboration JUNO regroupe 650 membres de 77 instituts.

### 3.2. Participations de l'IN2P3

Cinq laboratoires français sont impliqués : Subatech, CENBG, CPPM, IJCLab, IPHC ainsi que le CC-IN2P3 et le centre de microélectronique OMEGA, avec un total de 18 physiciens et 30 ingénieurs français (correspondant à 16 ETP).

La première contribution technique majeure des laboratoires de l'IN2P3 (estimée à 3.2 M€ en coût matériel) a consisté en la fourniture des scintillateurs récupérés de l'expérience OPERA pour le système de véto à muons (Target Tracker ou TT). L'IN2P3 a aussi contribué à la mécanique de support et l'électronique associée, en collaboration avec des groupes de Dubna et Frascati.

L'IN2P3 a ensuite joué un rôle crucial dans la conception du détecteur de neutrinos en proposant d'ajouter un système de petits photomultiplicateurs (SPMT de 3 pouces de diamètre) pour compléter le système de grands photomultiplicateurs (LPMT de 20 pouces de diamètre). Cette conception dite de « double calorimétrie » a été adoptée en 2016. L'objectif est à la fois de permettre une correction des effets de non-linéarité du LPMT en utilisant un laser avec une large plage dynamique qui illuminera à la fois le LPMT et le SPMT, et de fournir une mesure indépendante des paramètres d'oscillation ( $\theta_{12}$ ,  $\Delta m^2_{21}$ ) avec une précision similaire au LPMT. Les laboratoires de l'IN2P3 sont impliqués dans la construction, l'électronique du SPMT et leur étalonnage.

Les équipes de l'IN2P3 sont aussi fortement impliquées dans le développement d'outils pour la simulation et la reconstruction, ou de méthodes de rejet du bruit de fond radiogénique et cosmogénique, et dans la préparation de l'analyse de données liées aux supernovæ à effondrement de cœur, ainsi qu'à la mise à jour de la sensibilité de l'ensemble du détecteur aux paramètres  $\theta_{12}$ ,  $\Delta m^2_{21}$ ,  $\Delta m^2_{31}$ . Ces activités se sont déjà traduites par une dizaine de publications au cours des trois dernières années et trois thèses. Un MoU est en préparation pour définir la répartition des données et des puissances de calcul entre l'IHEP et quatre centres européens : CC-IN2P3, CNAF (Italie), JINR (Russie) et MSU (Russie). Les physiciens de l'IN2P3 ont des responsabilités dans les différents comités de JUNO.

Un retard d'environ 2 ans est à déplorer pour la construction du tunnel, suite à des problèmes d'infiltration d'eau. Cependant la construction du détecteur suit le calendrier prévu. L'installation finale du détecteur suscite cependant quelques inquiétudes, car les équipes extérieures ne peuvent actuellement pas accéder au site à cause de la pandémie et tout doit être organisé à distance.

### 3.3. Avis du Conseil

Le Conseil félicite l'équipe JUNO pour ses contributions techniques majeures. Le Conseil tient à souligner qu'il est important que le MoU en cours d'élaboration spécifie clairement les conditions d'accès à l'intégralité des données afin que soit garanti le retour scientifique pour les équipes françaises. Une attention particulière doit être portée à l'installation afin qu'elle puisse se terminer dans de bonnes conditions malgré les difficultés d'accès au site. Le Conseil apprécie aussi la qualité des contributions à la préparation de l'analyse de données, qui devront être renforcées à l'approche du démarrage de l'expérience. Le potentiel de JUNO pour la mesure de l'ordre des masses des neutrinos est élevé et il est important que l'IN2P3 joue un rôle visible au niveau de la production scientifique de la collaboration JUNO.

## 4. Neutrinos atmosphériques : ORCA

### 4.1. Description du projet

L'expérience KM3NeT (Cubic KiloMetre Neutrino Telescope), successeur d'ANTARES, est actuellement en construction dans la mer Méditerranée. Elle est composée de deux détecteurs :

- ORCA (Oscillation Research with Cosmics in the Abyss), au large de Toulon en France, étudiera les propriétés fondamentales des neutrinos, notamment en visant à déterminer l'ordre des masses des neutrinos par la mesure des oscillations des neutrinos atmosphériques en fonction de l'énergie et de la quantité de matière en traversant la Terre. Il est prévu qu'ORCA instrumente  $5,5 \times 10^{-3} \text{ km}^3$  d'eau de mer.
- ARCA (Astronomy Research with Cosmics in the Abyss), au large de Capo Passero en Italie, sera un télescope à neutrinos à l'échelle du  $\text{km}^3$  optimisé pour la découverte et l'observation de sources de neutrinos astrophysiques.

Tout en adoptant des densités d'instrumentation différentes, ARCA et ORCA partagent la même technologie. Les éléments de détection de base sont des modules optiques (« digital optical module », DOM) contenant 31 tubes photomultiplicateurs (PMT de 3 pouces), installés sur des lignes de détection verticales (DU, unités de détection), ancrées à une profondeur de 2,5 km (site français) à 3,5 km (site italien).

Dans sa configuration ultime, le détecteur ORCA comportera 115 lignes (soit 2070 DOM), tandis que 230 lignes équiperont le détecteur ARCA. La collaboration comporte 56 instituts de 17 pays, dont 7 participent à l'intégration du détecteur. En France, six Laboratoires (APC, CPPM, IPHC, LPC, LUPM, Subatech) sont impliqués dans le projet ORCA et sa construction.

Les premières lignes de ARCA et ORCA ont été déployées en 2016 et 2017. Avec ses 6 premières lignes, ORCA a d'ores et déjà pu montrer une sensibilité à l'oscillation des neutrinos atmosphériques et à l'angle de mélange  $\theta_{23}$ . Elles ont également permis de déterminer l'orientation absolue du détecteur en observant précisément l'ombre du Soleil et de la Lune filtrant les rayons cosmiques. Juste après la séance du Conseil, en novembre 2021, 4 nouvelles lignes ont été installées sur le site d'ORCA.

Dans sa version complète, les objectifs de physique d'ORCA incluent :

- La mesure de l'ordre des masses ("Neutrino Mass Ordering", NMO), avec une sensibilité annoncée de  $5\sigma$  pour l'ordre normal (NO) et de  $2.5\sigma$  pour l'ordre inverse (IO), qui pourrait être atteinte en 4 années de prise de données, selon la valeur de  $\theta_{23}$ ,
- La mesure des paramètres d'oscillation atmosphériques ( $\theta_{23}$ ,  $\Delta m_{32}$ ) au pour cent,
- La mesure du facteur de normalisation du flux de neutrinos dans le canal d'apparition (anti)-neutrino tau afin de contraindre l'unitarité de la matrice de mélange,
- L'étude des supernovæ à effondrement de cœur, par la détection d'une augmentation du taux de coïncidence dans le détecteur (neutrinos de l'ordre de quelques MeV), sachant que plus de 95 % des supernovæ localisées dans notre Galaxie peuvent être observées par les détecteurs KM3NeT,
- L'amélioration des limites sur les paramètres d'oscillation pour un neutrino stérile de masse autour de l'eV,



- La tomographie de la Terre, dans la limite des connaissances sur les incertitudes en jeu.

D'autre part, une analyse combinée des expériences JUNO et KM3NeT/ORCA (avec le dispositif complet) permettra une détermination à  $5\sigma$  de l'ordre des masses des neutrinos après 6 ans de prise de données conjointe, quelle que soit la valeur des paramètres d'oscillation. Cette sensibilité serait atteinte après seulement 2 ans de prise de données conjointe en supposant les valeurs globales actuelles du meilleur ajustement des paramètres d'oscillation pour un ordre normal. Ces sensibilités sont similaires à celle d'une analyse combinée des données de JUNO, T2K et Nova en trois ans (2026-2028).

Des études ont été réalisées sur les possibilités d'utiliser KM3NeT/ORCA comme détecteur lointain pour une expérience à longue distance avec un faisceau de neutrinos produit par le complexe d'accélérateurs U70 à Protvino (Russie). Le projet nommé P2O ("Protvino to ORCA") vise à mesurer précisément la phase de la violation de CP, et repose sur la taille de KM3NeT/ORCA, qui sera plus de 100 fois plus grand que les détecteurs de prochaine génération (HK, DUNE). L'objectif est de gagner par exemple un facteur deux sur la précision que DUNE obtiendrait en 10 ans dans sa configuration finale. Un projet ANR a été financé pour s'assurer de la faisabilité de cette expérience.

#### **4.2. Participations de l'IN2P3**

Les six laboratoires de l'IN2P3 contribuent essentiellement à la conception, la construction, l'intégration et l'étalonnage des lignes et des DOM. Le porte-parole de l'expérience est un membre de l'IN2P3. L'infrastructure au large de Toulon est devenue une plateforme nationale de recherche IN2P3, coordonnée par Aix-Marseille Université et Ifremer, et nommée le Laboratoire Sous-marin Provence Méditerranée (LSPM). Le CPPM en est le laboratoire hôte. L'IN2P3 est très bien représenté dans la collaboration, notamment par des responsabilités techniques et scientifiques (porte-parole de KM3NeT, Responsable Technique, Coordinateur de la physique des oscillations, Coordinateur de l'astronomie neutrino ...). D'autre part, la plateforme LSPM accueille de nombreux capteurs pour l'étude de la science de la mer (biologie marine, océanographie, sismologie, ...).

#### **4.3. Avis du Conseil**

Le Conseil félicite les équipes de l'expérience ORCA pour avoir montré une sensibilité à l'oscillation des neutrinos atmosphériques ainsi qu'à l'angle de mélange  $\theta_{23}$  avec les six premières lignes déployées. Il se réjouit par ailleurs de l'amélioration substantielle du potentiel scientifique démontré par des analyses optimisées, en particulier sur la détermination de l'ordre des masses des neutrinos, lorsque le détecteur sera complet.

Le Conseil s'inquiète néanmoins de l'incertitude persistante sur le calendrier d'installation de l'ensemble des lignes de détection. Ces contingences sont certes liées aux aléas et à la difficulté d'installer un détecteur en mer, mais proviennent surtout de l'incertitude sur le financement. Le Conseil regrette que le financement de la totalité des lignes ne soit pas encore acquis, et déplore le manque de ressources humaines sur la production qui semble ralentir l'installation (10 lignes installées sur les 115 prévues).

Le potentiel de physique serait fortement dégradé si ORCA n'était financé qu'à moitié du plan initial, ce qui nécessiterait alors une augmentation de la durée de prise des données. Par exemple, un déploiement incomplet de 75 lignes (65%) seulement ou de 50 lignes (44%)

signifierait respectivement, un glissement du calendrier de 4 ans à 6 ans ou plus de 8 ans sur la NMO dans le cas d'un ordre normal. Il est cependant assez probable qu'une mesure combinée à  $5\sigma$  (avec la combinaison des expériences Nova, T2K, JUNO et SK) soit déjà disponible pour les paramètres les plus favorables si le retard excède une année (en prenant en compte le scénario le plus optimiste donné).

Le Conseil souligne ainsi l'importance pour la Collaboration de prouver qu'elle est capable de déployer au moins 25 lignes en 2022 afin de démontrer que les objectifs sont atteignables. Ceci permettrait en outre de confirmer que le rythme de construction et de déploiement de 25 lignes par an imposé pour avoir un détecteur ORCA complet de 115 lignes pour fin 2025 est accessible, encourageant ainsi les demandes et les obtentions de financements complémentaires pour compléter la construction du détecteur.

Le Conseil souligne l'intérêt de continuer les études prospectives du projet P2O et suggère de structurer les activités futures au vu de la précision visée pour la mesure de la phase de violation de CP dans le secteur leptonique.

## 5. Le projet DUNE

### 5.1. Préambule

À la demande de la direction de l'IN2P3, la contribution de l'IN2P3 au projet DUNE a fait l'objet d'un examen détaillé lors de la réunion du présent Conseil Scientifique. Les questions spécifiques posées au Conseil étaient les suivantes :

1. Quel est le retour scientifique attendu ? Quel est l'impact du projet sur les « Science Drivers (SD) » dont la liste est ci-dessous ?
  - a. *Pursue the physics associated with the nature of the neutrino*
  - b. *Explore the PMNS neutrino mixing paradigm and CP violation*
  - c. *Determine the neutrino mass and ordering*
  - d. *Explore the physics beyond the three-neutrino flavour mixing*

En particulier, les spécificités de DUNE à cet égard seront explicitées, ainsi que la complémentarité avec les autres projets compte-tenu de leur phasage temporel.

2. Quelles sont les principales spécificités (points forts/faibles) de la contribution de l'institut - comparées aux contributions des autres instituts internationaux, dans cette expérience ?
3. L'engagement des équipes dans le projet est-il pertinent ? Est-il suffisant pour atteindre les objectifs affichés ? Permet-il d'escompter un retour scientifique fort ?

### 5.2. Description du projet

L'expérience DUNE (Deep Underground Neutrino Experiment) est une expérience de neutrinos de longue distance auprès de l'infrastructure LBNF (Long Baseline Neutrino Facility) au Fermilab, près de Chicago. DUNE s'appuie sur le projet PIP-II d'augmentation en intensité du faisceau de protons de Fermilab et sur la plateforme Neutrino du CERN pour le

développement et le test de prototypes. Le projet DUNE comporte deux détecteurs, l'un proche de l'accélérateur, l'autre installé à 1300 km de distance au laboratoire souterrain de Sanford, dans le Dakota du Sud. Le détecteur lointain se compose de 4 cryostats identiques comportant chacun un module d'environ 17kt d'argon liquide (10 kt et 15 kt fiducielles pour les deux premiers).

Les objectifs scientifiques de DUNE sont multiples, et prévoient en particulier (i) de reconstruire dans tous leurs détails les oscillations des neutrinos  $\nu_\mu$  et anti- $\nu_\mu$  afin de mesurer précisément certains paramètres d'oscillation ( $\theta_{23}$  et son octant,  $\theta_{13}$ ,  $\Delta m_{13}$ ) et de mettre en évidence une éventuelle violation de CP dans le secteur leptonique ; (ii) de déterminer l'ordre des masses des neutrinos grâce aux effets de matière sur la grande distance d'oscillation; (iii) de rechercher la désintégration du proton dans différents états finals ; ou (iv) de mesurer le flux de  $\nu_e$  produits par l'explosion d'une supernova dans notre Galaxie (dont la fréquence estimée est de quelques-unes par siècle). Pour cela, les spécificités de DUNE incluent l'accès, par le spectre en énergie, aux deux premiers maxima d'oscillation, ce qui permet de séparer les effets de matière de ceux du paramètre de violation de CP. La précision est apportée par la puissance maximale du faisceau et l'importance de la masse fiducielle avec quatre cryostats opérationnels. La TPC à argon liquide permet la reconstruction précise de l'énergie et la reconstruction géométrique des événements, déterminantes pour l'étude de la désintégration du proton dans certains canaux, et pour le pointage des supernovæ utile à l'astronomie "multi-messagers". Avec une prise de données initialement prévue pour débuter en 2027, le contexte international devait permettre à DUNE d'envisager d'atteindre ces objectifs avant les autres expériences et projets du domaine avec de surcroît une précision significativement supérieure.

La collaboration DUNE regroupe aujourd'hui plus de 1000 physiciens et ingénieurs à travers plus de 200 instituts de 36 pays. Le projet DUNE est né en 2015 de la fusion de deux programmes, l'un américain, l'autre européen. L'IN2P3 contribuait au programme européen LAGUNA-LBNO depuis 2006 avec des études sur l'électronique de lecture pour des détecteurs à argon liquide (IPNL/IP2I). L'IN2P3, avec la contribution de 5 laboratoires (APC, IJCLab, IP2I, LAPP, LPSC), joue maintenant un rôle majeur dans la construction du deuxième module du détecteur distant de DUNE. La construction du prototype  $3 \times 1 \times 1 \text{ m}^3$  (2016-2017) et l'expérience NP02 / protoDUNE ( $6 \times 6 \times 6 \text{ m}^3$ ) double phase (2017-2019) ont été des étapes importantes.

Fin 2020, la collaboration a pris la décision d'abandonner le concept de détecteur double phase et d'opter pour un concept de détecteur simple phase à dérive verticale, plus robuste et moins coûteux. En effet, les progrès en termes de pureté de l'argon liquide permettent de se passer désormais du gain plus élevé de la technologie double phase. Ainsi une intense activité des équipes IN2P3 a eu lieu depuis la dernière présentation au CSI en 2018, avec la réparation du « High Voltage Extender », l'inspection du cryostat de NP02, les tests du prototype NP02/DUNE, la transition vers le « Vertical Drift » et les tests des éléments de ce dernier dans le caisson froid.

Les activités actuelles se focalisent sur la préparation d'un Module-0 qui servira de prototype du détecteur simple phase à dérive verticale, suivant le rapport d'études conceptuelles soumis en août 2021 au comité LBNC (Long Baseline Neutrino Committee). Le calendrier est assez agressif, puisque le Module-0 du concept à dérive verticale devra être testé au CERN en 2023 avant d'entamer la phase de production. Les contributions de l'IN2P3 consistent en

l'électronique de l'anode supérieure (IP2I et CENBG), la mécanique associée (IJCLAB), les plans de lecture (LAPP et LPSC), le plan de cathode (IJCLAB), sans oublier des contributions pour l'acquisition, le calcul au CC-IN2P3, l'analyse en ligne et le développement logiciel. Une implication est aussi en cours de discussion pour le système de détection de photons (APC).

En octobre 2020, DUNE a été approuvé comme Très Grande Infrastructure de Recherche (TGIR) afin de soutenir les activités de l'IN2P3 et du CEA sur le détecteur lointain de DUNE et l'accélérateur PIP-II. Avec le financement obtenu, l'IN2P3 prend en charge près de la moitié de la construction de l'instrumentation du second module, basée sur le concept à dérive verticale, tandis que le CEA contribue à la construction de l'accélérateur PIP-II<sup>1</sup>. Une revue d'état en vue de la production est prévue fin 2023, qui devrait donner le feu vert pour la production de masse. L'assemblage de ce deuxième détecteur distant est maintenant prévu en 2027, pour être prêt pour une prise de données (hors accélérateur) en 2029. Compte tenu des dernières informations présentées début novembre 2021 à la réunion HEPAP (High Energy Physics Advisory Panel)<sup>2</sup>, il est prévu que DUNE fonctionne sur accélérateur avec ces deux modules à partir de 2031, et avec son détecteur proche à partir de 2032.

### 5.3. Avis du Conseil

#### ***Retour scientifique attendu et impact du projet sur les “Science Drivers”***

La mesure précise des paramètres d'oscillation est un atout déterminant pour la confirmation du modèle PMNS à trois saveurs, ou la recherche d'une physique au-delà de ce cadre. Le Conseil estime que le projet DUNE, avec l'ensemble de ses spécificités (Section 5.2) et dans sa configuration nominale, est adapté pour produire un impact significatif sur une grande partie des motivations scientifiques listées plus haut.

#### ***Incertitudes : Phasage temporel et configuration de l'expérience***

Le Conseil prend cependant acte du retard important pris par le projet (qui coûtera aussi plus cher que prévu), le calendrier officiel fixant à 2032 l'exploitation de DUNE pour la mesure des oscillations, dans sa première configuration de deux cryostats sur quatre pour le détecteur lointain et la moitié de la puissance nominale du faisceau. Le doublement de la puissance faisceau et de la masse fiducielle n'apparaissent pour l'instant dans aucun calendrier officiel. Avec ce nouveau “phasage temporel”, il n'est pas improbable que l'ordre des masses et la possible non-nullité du paramètre de violation de CP auront été découverts par les autres expériences du domaine avant que DUNE ne puisse y contribuer significativement. Dans ce contexte, le Conseil propose de considérer deux catégories de retours scientifiques possibles : les retours forts rapides, basés soit sur des mesures uniques spécifiques à DUNE soit sur une complémentarité fondamentale avec les autres projets, et les retours à plus long terme, profitant des mesures de précision des paramètres d'oscillation ou des phénomènes rares. Ces deux derniers points nécessiteront un temps long de prises de données, et pour certains, une bonne connaissance des incertitudes systématiques liées notamment au détecteur proche.

---

<sup>1</sup> De plus, l'IN2P3 contribue à la R&D, et maintenant à la construction de PIP-II (participation à la construction de 33 cavités accélératrices Spoke pour 7 cryomodules, tandis que le CEA souhaitait participer au détecteur proche, mais la solution proposée n'a pas été retenue par la collaboration.

<sup>2</sup> Voir planche 9 de la présentation : [https://science.osti.gov/-/media/hep/hepap/pdf/202111/LBNF-DUNE\\_Status\\_HEPAP\\_202111.pdf](https://science.osti.gov/-/media/hep/hepap/pdf/202111/LBNF-DUNE_Status_HEPAP_202111.pdf) (02/11/21)

### ***Points forts : Spécificités de la contribution de l'institut.***

L'excellence et l'engagement des équipes de l'IN2P3 sur le second détecteur de DUNE depuis une quinzaine d'années est le point fort de la contribution de l'Institut. Le Conseil félicite les équipes de l'IN2P3 d'avoir pleinement exploité les résultats du prototype double phase (DP) pour proposer un nouveau concept à dérive verticale (VD) plus simple, moins cher, avec une haute tension réduite (300 kV au lieu de 600 kV) et avec plus de matière fiducielle (15 kt au lieu de 10), un an après la publication du rapport d'études techniques. Sur cette base, la direction de l'IN2P3 envisage, à terme, un doublement de la main-d'œuvre engagée sur le projet DUNE.

En cas de succès de ce nouveau concept, et dans la mesure où le CERN s'est engagé à fournir le second cryostat, le Conseil est d'avis que le retour pour l'institut en termes de visibilité et de fiabilité sur ses contributions techniques sera exceptionnel, d'autant qu'il inspirera peut-être les troisième et quatrième détecteurs dans un futur plus ou moins lointain (sans que le Conseil n'ait à ce jour les éléments pour savoir si cette évolution possible est réaliste ou non).

### ***Points faibles : Non participation de l'institut au détecteur proche***

La maîtrise des incertitudes systématiques sera un élément clé pour l'impact des analyses de long terme des données de l'expérience. À ce titre, le Conseil craint que la non participation des équipes françaises au détecteur proche puisse représenter une faiblesse par rapport à d'autres équipes, notamment américaines, qui seront ainsi mieux placées pour réaliser ces analyses. De plus, le Conseil alerte les équipes et la direction sur le risque que la responsabilité majeure prise dans la construction du second détecteur se traduise à terme par une présence continue des physiciens de l'IN2P3 sur site pour son opération et sa maintenance, réduisant d'autant l'impact sur les analyses de physique.

### ***Risques : Un agenda très serré et des défis techniques***

Le Conseil s'inquiète de l'agenda très serré d'ici au test du prototype Module-0 du VD qui doit être opérationnel en 2023 : tout imprévu technique pourrait avoir des conséquences importantes, et pourrait retarder l'ensemble du projet. Pour ne citer qu'un exemple, la possibilité de faire fonctionner les modules de détection de lumière X-Arapuca au potentiel de 300 kV n'est pas encore démontrée. L'apport de la puissance aux modules par des fibres, la fiabilité dans le temps imposée par l'inaccessibilité, et les contraintes mécaniques de masse et de densité introduites par la nécessité de faire porter ces modules par le plan de cathode constituent un risque important. Pour prévenir ce risque, une étude a été entreprise pour placer les modules de détection de lumière derrière la cage de champ, rendue plus transparente. Le Conseil considère que cette dernière solution est effectivement moins risquée. Cependant, une étude minutieuse de l'impact des différentes options sur la reconstruction finale des traces paraît indispensable. Cette étude devrait aussi couvrir l'impact d'une perte de certains modules dans le temps.

De façon plus générale, le Conseil estime qu'une étude complète des risques liés aux défis technologiques, et de leurs conséquences potentielles sur les mesures et les retours scientifiques serait nécessaire pour identifier les actions susceptibles de les modérer. Une étude des risques spécifiquement liés au changement d'échelle permettrait en outre de s'assurer que le succès du Module-0 lèvera toutes les questions sur le détecteur final.

## 5.4. Recommandations

Le calendrier de DUNE présenté à HEPAP indique un démarrage en 2031 pour la physique nécessitant le faisceau, et 2032 pour la physique nécessitant la présence du détecteur proche. Le Conseil estime donc indispensable que les équipes de l'IN2P3 identifient les sujets de physique pouvant apporter un retour scientifique rapide, dans lesquels elles devront s'impliquer fortement dès à présent, compte tenu de ce nouveau calendrier. Pour assurer un retour scientifique fort et rapide, cette stratégie scientifique devra être basée soit sur des mesures uniques spécifiques à DUNE soit sur une complémentarité fondamentale avec les autres projets. Pour le plus long terme, le calendrier des mesures de précision et de leurs implications pour la physique (octant, unitarité, ...) devra être ré-établi et clairement communiqué, dans différentes hypothèses (1.2/2.4 MW, 10/25/40/55 kt) et en supposant le succès des autres expériences selon leurs calendriers respectifs. Le Conseil recommande également que les équipes étudient la possibilité de s'impliquer dans les mesures faites à l'aide des détecteurs proches. Ceci permettrait d'acquérir une meilleure connaissance de la détermination des incertitudes systématiques, et optimiserait ainsi l'impact de leurs analyses.

Le calendrier imposé par le DOE, encore très ambitieux et agressif malgré le retard annoncé, va exiger un effort soutenu entre les tests et le début de la production, et nécessitera une organisation minutieuse au sein des équipes de l'IN2P3. Le Conseil recommande d'organiser des revues techniques pointues aux étapes clés du projet (avec rapporteurs extérieurs), pour s'assurer que la composition des équipes est optimale à tout moment et que le Module-0 et le détecteur seront opérationnels dans les temps. Il conviendra de veiller à ce que les besoins d'effectifs sur place pour assurer le fonctionnement du détecteur soient répartis entre les différentes équipes membres du consortium, afin que cette responsabilité ne réduise pas la capacité des équipes de l'IN2P3 à participer aux analyses de physique.

Finalement, le Conseil souhaiterait que soit programmée une présentation de DUNE devant le Conseil Scientifique de l'Institut, idéalement, avant le début de la construction du détecteur n°2 (c'est à dire avant la mi-2024 d'après le planning présenté), pour être tenu informé des points suivants :

- les forces en présence à l'IN2P3 et leur évolution, accompagnée d'une comparaison quantitative avec les autres acteurs de la collaboration ;
- les conclusions des revues techniques qui auront été menées ;
- les études de risque évoquées précédemment, comprenant les études spécifiques au passage du Module-0 au détecteur final ;
- les stratégies d'analyse envisagées pour les retours scientifiques potentiellement rapides, ainsi que le plan d'analyse à plus long terme.

Le Conseil prend note de la stratégie de la direction de renforcer très significativement les ressources humaines sur le projet DUNE dans les prochaines années. Pour les aspects techniques, le Conseil recommande que ces recrutements soient adaptés au plus près aux besoins établis par les revues techniques précitées, afin de garantir le succès du développement, de l'installation et de la mise en service du module à dérive verticale. Pour ce qui est des postes de recherche, le Conseil préconise de bien veiller à ajuster ces recrutements à l'évolution du contexte scientifique international, et en coordination étroite avec les autres projets du domaine à l'IN2P3.

## 5.5. Executive summary

The schedule presented to HEPAP for DUNE indicates a start in 2031 for physics requiring beam, and in 2032 for physics requiring the presence of the near detector. The Council therefore considers it essential that the IN2P3 teams identify the physics topics that can provide rapid scientific return and, given the new schedule, that they commit swiftly and strongly to the corresponding analyses. To ensure a meaningful and rapid scientific return, this scientific strategy must be based either on unique measures specific to DUNE or on fundamental complementarity with other projects. For the longer term, the timing of precision measurements and their implications for physics (octant, unitarity, etc.) will have to be re-established and clearly communicated, under several realistic assumptions (1.2/2.4 MW, 10/25/40/55 kt) and assuming the success of the other experiments according to their respective schedules. The Council also recommends that the teams study the possibility of getting involved in the measurements made using the near detectors. Such a commitment would make it possible to acquire a better knowledge of the determination of systematic uncertainties, and would thus optimize the impact of their analyses.

The schedule determined by the DOE, still very ambitious and quite aggressive despite the announced delay, will generate a sustained effort between the tests and the beginning of production, which requires in turn careful organization within the IN2P3 teams. The Council recommends organizing in-depth technical reviews around the key milestones of the project (with external reviewers), to ensure that the composition of the teams is optimal at all times and that Module-0 and the detector are up and running on schedule. It will be important to make sure that the needs for on-site staff (in charge of detector operation and maintenance) are shared between the various member teams of the consortium, so that this responsibility does not impair the capacity of the IN2P3 teams to participate in physics analyses.

Finally, the Council would like another presentation to be scheduled in front the Institute Council, ideally before the construction of the second detector starts (i.e. mid-2024 according to the current schedule), to be kept informed of the following points:

- the human resources at IN2P3 and their evolution, accompanied by a quantitative comparison with the other stakeholders in the collaboration;
- the conclusions of the technical reviews that will have been carried out;
- the risk assessments mentioned above, including studies specific to the transition from the Module-0 to the final detector;
- the scientific strategy envisioned for the potentially quick scientific returns, as well as the longer-term analysis plan.

The Council takes note of the directorate's strategy to very significantly strengthen human resources on the DUNE project in the coming years. For the technical aspects, the Council recommends that these recruitments be adapted as closely as possible to the needs established by the aforementioned technical reviews, in order to guarantee the success of the development, installation and commissioning of the vertical-drift module. With regard to research positions, the Council recommends adjusting these recruitments to the international scientific context evolution, in close coordination with the other projects in the field at IN2P3.

## 6. Evolution du projet Hyper-Kamiokande

### 6.1. Description du projet

Le projet Hyper-Kamiokande (HK) représente la nouvelle génération des détecteurs Čerenkov à eau de très grande taille dédiés à l'étude des neutrinos, avec plusieurs composantes : une augmentation de 500 kW à 1.3 MW de la puissance du faisceau de protons produisant les neutrinos ; la construction d'un détecteur Čerenkov à eau proche de la source afin de mieux contrôler les incertitudes systématiques ; et la construction d'un nouveau détecteur Čerenkov à eau de 260 kt dans la région de Kamioka. Le volume fiduciel de ce dernier sera huit fois supérieur à celui de Super-Kamiokande (SK), améliorant donc les statistiques pour la physique « non-accélérateur » de ce même facteur 8, et, avec l'augmentation de la puissance en protons, d'un facteur 20 pour les analyses utilisant les neutrinos provenant de Tokai. En parallèle, les progrès sur les tubes photomultiplicateurs permettront d'améliorer les performances de HK sur les mesures de direction et temps des événements menant à un meilleur rapport signal/bruit. Le projet HK a été approuvé en 2019 par le Japon et compte commencer la prise de données en 2027. La collaboration HK est actuellement composée de 450 physiciens provenant de 19 pays de 3 continents différents.

Les gains en termes de sensibilité pour les sujets « phares » peuvent être résumés comme suit :

- La sensibilité de HK à la violation de CP sera de  $5\sigma$  en 2 ans si l'angle de violation de CP dans la matrice PMNS est  $-\pi/2$ , et atteindra  $3\sigma$  sur 70% des valeurs possibles de cet angle en 5 ans.
- Du fait de la (relativement) courte distance entre Tokai et Kamioka, HK devra combiner les données en faisceau avec celles obtenues avec les neutrinos atmosphériques pour mesurer l'ordre des masses : il faudra entre 6 et 10 ans pour une mesure à  $5\sigma$ , selon la valeur des paramètres de la matrice PMNS. Il n'est cependant pas impossible qu'une mesure combinée à  $5\sigma$  soit déjà disponible pour les paramètres les plus favorables lors du démarrage de HK<sup>3</sup>.
- HK pourra détecter une dizaine de neutrinos en cas de supernova à 4 Mpc, distance à laquelle une supernova est attendue tous les 3 ans. Pour une supernova à 10 kpc (le centre de notre galaxie), HK pourra reconstruire la direction de provenance des milliers de neutrinos détectés avec une précision d'un degré.
- Dès 2031, HK aura une sensibilité à la désintégration du proton dans le canal  $e\pi\pi$  similaire à SK+SKGd,  $4.10^{34}$  ans, et à long terme devrait arriver à  $10^{35}$  ans, valeur propice du point de vue de la grande unification des couplages.

---

<sup>3</sup> Aujourd'hui, la signification statistique des mesures combinées atteint  $2.8\sigma$  avec les paramètres les plus favorables, et montera très probablement à  $5\sigma$  d'ici 2028 en combinant toutes les mesures sur accélérateurs à JUNO. La mesure atmosphérique d'ORCA sous la condition d'un dispositif complet, combinée à JUNO, pourrait également offrir une mesure à  $5\sigma$  en quelques années de prise de données, sans oublier la synergie avec les contributions possibles de ICECUBE/DeepCore et SK-Gd. Rappelons que la mesure à  $3\sigma$  avec un détecteur unique sera réalisée par JUNO (vers 2030) et ORCA (configuration complète).



## 6.2. Contributions techniques proposées

Les équipes de l'IN2P3, en collaboration avec le CEA, proposent de contribuer aux aspects techniques de HK sur 3 axes, en sus des améliorations au détecteur proche ND280 (en cours pour T2K-II) où ces groupes jouent un rôle majeur.

Le LLR et l'IRFU, en collaboration avec la plateforme OMEGA, développent une solution pour la lecture des photomultiplicateurs du détecteur HK de Kamioka autour de la puce HKROC, évolution de la puce HGCROC développée pour l'expérience CMS au CERN. Cette solution, techniquement supérieure aux autres approches en considération (proposées par les collaborateurs japonais et italiens), sera testée dès la fin 2021. Une décision quant à quelle solution adopter devrait être prise par la collaboration HK en juin 2022. Elle sera basée sur les performances techniques, l'expertise des équipes en question, et l'engagement financier attendu. Toujours sur le plan de l'électronique de lecture du détecteur HK de Kamioka, en consultation avec le SYRTE à l'Observatoire de Paris, le LPNHE propose un système de génération et de distribution d'horloges, et le LPNHE et l'IRFU collaborent avec l'INFN sur la distribution de cette horloge à l'électronique front-end. L'alternative est d'utiliser le système de distribution d'horloge de SK. Ici aussi une décision devrait être prise en juin 2022, et elle sera également basée sur l'engagement financier attendu en sus des aspects techniques. Notons que les équipes du LLR et d'OMEGA bénéficient d'un soutien de 400 k€ (matériel + CDD) de l'Ecole polytechnique pour le développement du HKROC. L'équipe du LPNHE a obtenu une dotation ANR de 300k€ (matériel + CDD) ainsi qu'un support financier de Sorbonne Université de 70k€ pour la R&D sur le système de génération et de distribution d'horloge. Le soutien de l'IN2P3 à ces deux activités de R&D en 2021 est de 90k€ (resp. 50 k€) en matériel, auxquels s'ajoutent environ 600 k€ de masse salariale

Les groupes français proposent aussi de contribuer « en nature » aux coûts d'opération, en participant aux besoins de HK en calcul. En effet, HK compte adopter une structure en tiers similaire aux expériences LHC et le CC-IN2P3 pourrait servir ici comme centre Tier1, fournissant entre 10 et 25 PB de stockage et jusqu'à 880 Mh de temps de calcul.

## 6.3. Avis du Conseil

La dernière présentation de la contribution de l'IN2P3 à HK en session du Conseil Scientifique de l'IN2P3 est assez récente (octobre 2018). En octobre 2021, le Conseil constate une évolution positive remarquable au cours des deux dernières années :

- Le projet HK est approuvé par le gouvernement japonais en août 2019, le budget (500 M\$) est voté en février 2020, et le début de la prise de données est confirmé pour 2027 ;
- Deux laboratoires de l'IN2P3 (LPNHE, LLR) et le CEA, soutenus par leurs conseils scientifiques respectifs, rejoignent le projet HK, en octobre 2019 pour le LPNHE, en janvier 2021 pour le CEA, et en mars 2021 pour le LLR.

De plus, le Conseil remarque la cohérence scientifique et technique du programme proposé, dans la continuité des expériences SK/T2K, également soulignée par l'exposé sur les projets de prochaine génération, par S. Bolognesi.

Le Conseil estime très probable que HK aura la primeur de plusieurs résultats très significatifs, non seulement par la mesure précise des paramètres de la matrice PMNS (y compris celle de la violation de CP et de l'ordre des masses, pour lequel HK devrait être la première expérience

à atteindre  $5\sigma$  isolément), mais aussi grâce à un programme de recherche varié couvrant la détection d'explosion de supernovæ (extra) galactiques, la recherche de neutrinos stériles, la désintégration du proton, le fond diffus de neutrinos de supernovæ, etc. Le Conseil entrevoit que certains de ces résultats, dont HK aura le monopole pendant plusieurs années, représentent un fort potentiel de découverte. Le Conseil considère donc que l'IN2P3 devrait y participer de manière visible, d'autant que le coût humain, financier et technique de la proposition des équipes IN2P3 reste modéré et leur garantirait une participation de premier plan dans l'analyse de données.

Du point de vue des ressources humaines, le Conseil constate la motivation du personnel de SK et de T2K et note la volonté exprimée par les groupes impliqués d'effectuer une transition progressive et une montée en puissance du projet HK dès que nécessaire. Le Conseil remarque que les équipes de l'IN2P3 peuvent faire fructifier leur expertise de longue date sur SK et T2K, afin d'être efficaces immédiatement, notamment en ce qui concerne la maîtrise des effets systématiques instrumentaux, et de proposer des contributions solides à HK, sur les plans tant scientifique que technique. En particulier, le Conseil note que l'IN2P3 est déjà fortement engagé aux niveaux financier et technique par l'intermédiaire du détecteur proche ND280 de T2K, dont la jouvence en cours de réalisation constituera aussi un détecteur proche de HK, qui sera immédiatement opérationnel et déjà bien caractérisé, et contribuera ainsi dès le démarrage de l'expérience à un meilleur contrôle des systématiques..

Le Conseil souligne cependant qu'un engagement technique direct sur le détecteur lointain de HK est requis pour confirmer et valider le ticket d'entrée de l'IN2P3 dans HK<sup>4</sup>, et considère que la participation centrale proposée par le LPNHE et le LLR en collaboration avec OMEGA sur le digitaliseur HKROC et sur le système de distribution d'horloge répond à cette condition dans une enveloppe budgétaire raisonnable. Le Conseil note également que les équipes de l'IN2P3 proposent une réflexion pour contribuer aux coûts d'opération à travers la participation du CC-IN2P3.

Le Conseil est informé que les propositions pour ces deux systèmes (HKROC et horloge) seront évaluées par la collaboration HK à l'été 2022, et qu'un bon fonctionnement du premier prototype du HKROC placerait les équipes de l'IN2P3 en position favorable par rapport à la compétition, au moins au niveau technique. Finalement, le Conseil prend acte du fait que la direction prévoit un examen pour avis avec rapporteurs extérieurs lors d'une prochaine session, qui devra se tenir rapidement après le choix définitif de la solution technique de digitalisation par la collaboration HK.

---

<sup>4</sup> Extrait du document « Agreement on Forming the Hyper Kamiokande Collaboration », page 4, Section 3 : *“The main requirement for becoming a member of the collaboration is for the individual member’s institution (either by itself or in cooperation with other collaboration institutions) to deliver a significant contribution to the construction, commissioning, and operation of the Hyper Kamiokande project. [...] All countries are expected to make some contribution to the construction of the far detector.”*

## 7. Discussions internes au CSI

### 7.1. Discussions avec la direction

#### Discussion sur la suite des prospectives IN2P3 :

Suite aux travaux de prospectives de l'IN2P3, la direction va dans les prochains mois évaluer le coût des projets et écrire un document de synthèse. La direction propose que le Conseil intervienne à un certain point dans l'élaboration de ce document, et demande comment procéder. Le Conseil demande à la direction de lui présenter le document de synthèse lors d'une discussion dans une prochaine session fermée.

Le Conseil fait remarquer qu'il aura aussi à écrire des prospectives d'ici la fin de la mandature.

Le Conseil note que la situation a évolué depuis la rédaction des documents de prospectives par les groupes de travail et demande de quelle manière ces évolutions seront prises en compte par la direction. La direction répond que des projets nouveaux (apparus après l'officialisation de la stratégie européenne) peuvent être considérés, et qu'ils seront examinés au cas par cas.

#### Composition de l'équipe de direction :

Suite au départ de J.-L. Biarrotte, un nouveau DAS Accélérateur et Technologie sera nommé d'ici à la fin de l'année. La direction souhaite élargir le périmètre de ce poste de DAS aux aspects détecteurs.

#### Prochaines séances du CS IN2P3 pour l'année 2022 :

Les prochaines séances auront lieu les 3-4 février, 23-24 juin et 27-28 octobre 2022. Les membres du Conseil intéressés pourront participer à l'établissement de l'ordre du jour.

La direction suggère de mettre en place des séances plénières par visioconférence (via zoom) uniquement, car une augmentation de la participation a été constatée avec ce mode de réunion. Le Conseil préfère des sessions hybrides en présentiel et visioconférence (zoom). Une autre possibilité consisterait à mettre en place une application de messagerie instantanée pour favoriser les questions, accompagnée d'une retransmission par « webcast » (comme pour les prospectives). Cette option n'a pas la faveur du Conseil car certaines salles de réunion ne permettent pas le webcast.

La prochaine séance du Conseil portera sur la thématique de l'énergie, dont le dernier examen date de 2013. Si le CEA et d'autres Instituts du CNRS en sont les acteurs principaux en France, il s'agit d'une thématique interdisciplinaire qui rassemble beaucoup de personnel à l'IN2P3. L'Institut héberge un certain nombre d'ERC portant sur ces questions, et d'autre part, il y a de nombreux appels à projet visant spécifiquement cette thématique (CNRS, NEEDS, ANR, Horizon Europe...). Ces recherches sont souvent adossées à des collaborations industrielles. Aujourd'hui, elles doivent répondre à la problématique de la transition énergétique, en particulier en lien avec la Loi Énergie Climat 2019 qui vise à atteindre la neutralité carbone d'ici 2050 en France. Le positionnement de l'IN2P3 est à définir, les questions posées au CSI IN2P3 lors de cette séance serviront à mesurer l'impact de l'IN2P3 dans ce domaine.

La séance de juin abordera la thématique du calcul, dont on a pu mesurer l'importance lors du colloque de restitution des prospectives de l'IN2P3. La direction rappelle que S. Crépe-Renaudin est la DAS IN2P3 chargée de ce domaine.

#### Statut des GDR :

Statutairement, la direction n'est plus obligée de demander à la section 01 du Comité national son avis à propos de la création ou du renouvellement d'un GDR. En revanche, la direction propose maintenant de demander son avis au Conseil. Il n'y a pas d'objection de la part du Conseil. Un petit nombre de membres pourrait examiner les documents associés (une dizaine de pages), possiblement entre les sessions. Une autre option consisterait à examiner en séance les GDR associés à une thématique scientifique.

Le Conseil fait remarquer que la section auditionnait les porteurs de GDR et demande s'il serait pertinent de procéder de la même manière. La direction ne le pense pas, car le Conseil n'a pas accès aux documents de carrière des chercheurs.

Le Conseil cite l'exemple du CS du CNRS, généralement informé des créations de GDR bien après la rédaction du document, et dont l'avis n'a par conséquent pas beaucoup d'impact. La direction est d'accord pour informer le Conseil bien en amont.

Enfin se pose aussi le problème de l'examen des GDR multi-instituts. La direction demandera d'abord l'avis du Conseil sur les GDR purement IN2P3.

## **7.2. Vie du Conseil**

### Évolution de la composition du Conseil

À l'occasion des départs à la retraite de Valérie Givaudan fin décembre 2021 (collège C) et de Louis Fayard mi-2022 (collège A1), tous deux membres élus, deux sièges vacants au Conseil seront affichés, et deux nouveaux membres seront cooptés par les autres membres élus du Conseil.

Nadine Neyroud, membre nommée, partira à la retraite en fin d'année 2022. La direction procédera à une autre nomination.

### Participation de la direction aux séances fermées

Lors de la session fermée de la présente séance, la direction n'a participé qu'aux discussions en rapport avec DUNE (projet pour lequel des recommandations du Conseil étaient requises), mais pas aux discussions sur les autres projets. Le Conseil souhaiterait parvenir à une règle plus uniforme de participation ou non de la direction aux différentes entrevues avec les équipes lors des séances fermées. Ce sujet sera mis à l'ordre du jour des discussions lors de la session de février.

### Précédent rapport du CSI :

Le retour de la direction sur le rapport de la séance des 26-27 juin a été rapide. Ce rapport a été rendu public peu après la séance d'octobre.